Railinfra Solutions

ProRail

HSL - TRN

Rapportage inspectie/onderzoek betonkwaliteit en advies herstel





Railinfra Solutions

ProRail

HSL - TRN

Rapportage inspectie/onderzoek betonkwaliteit en advies herstel

referentie	**projectcode**	**status**
RIS430-4/pouc/022	RIS430-4	definitief 2.0
projectleider	**projectdirecteur**	**datum**
ir. A.J. Strijker	ir. J.J.T.M. Sanders	24 september 2015

autorisatie	**naam**	**paraaf**
goedgekeurd	ir. A.J. Strijker	

Railinfra Solutions

Leidseveer 4

Postbus 24088

3502 MB Utrecht

telefoon 030 283 39 00

www.railinfrasolutions.nl

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Railinfra Solutions V.O.F. is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

INHOUDSOPGAVE **blz.**

BIJLAGEN

MANAGEMENTSAMENVATTING

Op verzoek van ProRail is er door Railinfra Solutions nader onderzoek verricht naar de staat van de stempels, wanden en dak van de HSL Tunnel Rotterdam Noordrand. Dit om te voorspellen of in het bijzonder de gemeten carbonatatiediepten, en vorst-dooi wisselingen de 100 jaar technische levensduur in gevaar brengen. Tijdens eerdere inspecties zijn namelijk mosgroei en verhoogde carbonatatie geconstateerd. Hier is door de aannemer reeds onderzoek naar gedaan, maar nader en gedetailleerder onderzoek is gewenst.

De doelstelling van het project is om de resterende levensduur te onderzoeken en bij gebleken onvoldoende betonkwaliteit een zodanige herstelmethode voor het aangetaste beton te ontwikkelen zodat de aangetaste betonconstructies hun vereiste levensduur van 100 jaar halen.

Uit de bureaustudie van de eerder verrichtte onderzoeken komt naar voren dat met name de (te snelle) carbonatatie in combinatie met mosgroei en vervolgens vorst de schade veroorzaakt. De oorzaak van deze schade is een te hoge porositeit van het beton, waarschijnlijk veroorzaakt door het onvolledig reageren van de bindmiddelen en het carbonatatieproces. In dit onderzoek is in het bijzonder gekeken naar de carbonatatie (ter controle van eerdere resultaten) en vorst-dooischade om de restlevensduur nader te bepalen. De focus van het onderzoek is met name op de open delen van de constructie omdat deze onderhevig zijn aan de elementen.

De verrichtte vorst-dooi schade en carbonatatiediepte onderzoeken leveren negatieve resultaten op. Op basis van deze resultaten wordt verwacht dat de technische levensduur van 100 jaar niet gehaald zal worden. Dit geldt met name voor de constructieonderdelen die onderhevig zijn aan weersinvloeden. Voor onderdelen is de verwachting dat de wapening na 20 tot 40 (vanaf nu, 2015) bloot zal liggen.

Om te voorkomen dat de aantasting van het beton leidt tot echte schade worden een aantal herstelmaatregelen voorgesteld. Het voorstel is om in ieder geval een CO2 dichte coating aan te brengen op de stempels. Het is daarnaast wenselijk dit ook te doen bij de wanden van het open deel en de wanden en dak van de ingangen van het gesloten deel.

Om de schademechanismen te monitoren wordt voorgesteld om elke 2 jaar de carbonatatiediepte te meten van het gesloten deel, elke 2 jaar een visuele inspectie van de gehele constructie uit te voeren en wanneer de wapening in het gesloten deel gaat roesten een potentiaalmeting uit te voeren.

Als gevolg van de gesignaleerde problemen bij de Tunnel Rotterdam Noordrand is op verzoek van ProRail door Railinfra Solutions aanvullend nader onderzoek verricht naar de betonkwaliteit van 5 andere HSL kunstwerken verdeeld over de contractgebieden ‘Zuid Holland Zuid’ en ‘Brabant Zuid’. Behoudens 1 onderzocht kunstwerk moet worden gesteld dat de kwaliteit van het beton eenzelfde beeld vertoond als het beton van de Tunnel Rotterdam Noordrand. De bevindingen van dit nader onderzoek zijn opgenomen in bijlage VI van deze rapportage.

Voorgesteld wordt om voor de gehele constructie een Life Cycle Costs (LCC) analyse uit te voeren. Door een LCC analyse uit te voeren kunnen de kosten en besparingen voor de gehele constructie over de volledige levensduur in beeld gebracht worden.

Het nader onderzoek naar de mogelijke reden van de slechte bestandheid tegen vostdooi wisselingen heeft aangetoond dat het soortelijke oppervlak van de ingesloten luchtbellen te klein is en de afstandsfactor te groot voor het voldoende bestand zijn tegen invloed van vorst. Zie hiervoor bijlage VIII.

De oorzaak van het niet aanwezig zijn van het gewenste minimale soortelijk oppervlak aan luchtbellen en de juiste afstandsfactor kan gelegen zijn in het feit dat er (te veel) vliegas aan het betonmengsel is toegevoegd.

Het toepassen van vliegas in beton kent vele voordelen voor het eindproduct (onder andere een dichte structuur) maar zorgt er ook voor dat de ‘natuurlijke’ beluchting van het mengsel te kort schiet. Het toepassen van een luchtbelvormer had dit kunnen voorkomen.

LEESWIJZER

In hoofdstuk 1 ‘Inleiding’ wordt de aanleiding, doelstelling, beschrijving van de werkzaamheden, scope en uitgangspunten van het onderzoek beschreven.

In hoofdstuk 2 ‘Bureaustudie’ is in het kort de analyse van de eerder verrichtte onderzoeken in opdracht van de aannemer beschreven. De onderzoeken betreffen een duurzaamheidstudie van de stempels en gordingen (130030-rap-u-0008, revisie: A, datum: 20 september 2012) en een vervolgonderzoek carbonatatie (130030-rap-u-0010, revisie: B, datum: 17 juni 2014).

In hoofdstuk 3 ‘Opzet’ van het onderzoek is uiteengezet welke type onderzoeken er op welke onderdelen uitgevoerd zijn. Van elk onderzoek is beschreven wat deze inhoudt.

In hoofdstuk 4 ‘Gegevens’ zijn de belangrijkste gegevens van de constructie gegeven die relevant zijn voor het onderzoek. Daarnaast zijn er ook de weergegevens beschreven van het weerstation in Rotterdam om te bepalen wat het maatgevende aantal vorst-dooi cycli in een jaar is. De laatste informatie is nodig om de restlevensduur te bepalen.

In hoofdstuk 5 ‘Schademechanismen en maatregelen’ zijn de schademechanismen beschreven met daaraan gekoppeld de risico’s die op kunnen treden. Om de schademechanismen en dus de risico’s te beperken/uit te sluiten worden een aantal beheersmaatregelen en monitoringsmaatregelen benoemd.

In hoofdstuk 6 ‘Bevindingen technisch onderzoek’ zijn de resultaten van de; vorst-dooi, carbonatatie, ASR, chloride, sterkte, samenstelling- en visueel onderzoek gegeven. De focus van het onderzoek ligt voornamelijk op vorst-dooi en carbonatatie. Aan de hand van deze resultaten en de verwachte aantal vorst-dooicycli per jaar wordt gegeven of de technische levensduur van 100 jaar gehaald wordt.

In hoofdstuk 7 ‘Kosten-batenraming en advies’ zijn de maatregelen per onderdeel beoordeeld op kosten en baten (effectiviteit, beschikbaarheid, onderhoudbaarheid en esthetiek). Hieruit volgt een advies over de te nemen herstelmaatregelen, monitoringsmaatregelen (inclusief frequentie) en vervolgonderzoek.

In hoofdstuk 8 ‘Uitgevoerd nader onderzoek’ is een korte beschrijving opgenomen van het later uitgevoerd aanvullend onderzoek welk is uitgevoerd op verzoek van ProRail naar aanleiding van de zorgwekkende resultaten van het hierboven gepresenteerde onderzoek.

De onderzoeksvraag hierbij was om aanvullend (laboratorium)onderzoek te verrichten op de reeds geboorde betonkernen, om te achterhalen wat de reden kan zijn voor de slechte bestandheid tegen vorstdooi wisselingen. Hierin wordt tevens ingegaan op de vraag van ProRail wat een reden kan zijn van de geconstateerde overvloedige mos aangroei op het beton én in hoeverre dit een nadelige/versterkende invloed kan hebben op de levensduur van het beton.

In de bijlagen I tot en met V zijn documenten toegevoegd welke behoren bij het onderzoek zoals beschreven in de hoofdstukken 1 tot en met 7.

In bijlage VI is een memo toegevoegd met aanvullende informatie. Dit betreft een beknopt nader onderzoek op de betonkwaliteit van 5 andere HSL kunstwerken. Hierin blijkt dat 4 van deze 5 kunstwerken eenzelfde beeld vertonen als het beton van de Tunnel Rotterdam Noordrand.

1. INLEIDING

1.1. Aanleiding

Eind 2011 is door de inspecteur van ProRail tijdens een inspectie forse mosgroei geconstateerd bij de Tunnel Rotterdam Noord (TRN). Het CMT-HSL-Zuid heeft hier de onderbouw aannemer BAM op aangesproken (garantie) Naar aanleiding van de waargenomen schade in de vorm van excessieve mosgroei op de betonconstructie, met name bij de stempels en gordingen van de Tunnel Rotterdam Noord (TRN) van HSL-3, heeft BAM het probleem opgepakt met diepgaand onderzoek.

Door BAM en TNO zijn reeds enkele onderzoeken uitgevoerd naar de oorzaken van de schade en naar een herstelmethodiek(130030-rap-u-0008 - Duurzaamheidstudie van de stempels en gordingen van TRN, 130030-rap-u-0009 - Betonherstel HSL-3 en 130030-rap-u-0010 - Vervolgonderzoek carbonatatie).

Door de onderbouw aannemer BAM is een schadeherstel uitgevoerd door een coating op het aangetaste betonoppervlak aan te brengen. Een evaluatie van de herstelde constructie geeft aan dat het uitgevoerde herstel slechts een marginaal resultaat heeft behaald. Door Infraspeed Maintenance BV is een inventarisatie uitgevoerd naar de schade omvang(aanwezigheid mosgroei) op de gehele HSL zuid. Uit die inventarisatie blijkt dat het aantal locaties en de hoeveelheid mosgroei aanzienlijk is.

Op verzoek van ProRail is er door Railinfra Solutions nader onderzoek verricht naar de staat van de stempels, wanden en dak. Dit om te voorspellen of in het bijzonder de gemeten carbonatatiediepten, en vorst-dooi wisselingen de 100 jaar technische levensduur in gevaar brengen. Op basis van kernboringen die uitgevoerd zijn in Tunnel Rotterdam Noord (TRN) en de laboratoriumonderzoeken die daarop volgden wordt in dit rapport een advies opgesteld met betrekking tot de beheersmaatregelen.

De doelstelling van het project is om een zodanige herstelmethode voor het aangetaste beton te ontwikkelen zodanig dat de aangetaste betonconstructies de gewenste levensduur van 100 jaar halen.

1.2. Doelstelling

De doelstelling[1] van het project is om de vereiste levensduur te onderzoeken en bij gebleken onvoldoende betonkwaliteit een zodanige herstelmethode voor het aangetaste beton te ontwikkelen dat de aangetaste betonconstructies hun levensduur van 100 jaar halen.

Om deze doelstelling te bereiken is deze opgesplitst in 4 deeldoelstellingen:
1. schademechanismen uit eerder onderzoek verifiëren;
2. oorzaak schade en omvang vast stellen;
3. indicatie geven of technische levensduur van 100 jaar in gevaar komt;
4. herstel- en monitoringsmaatregelen voorstellen voor de schademechanismen.

---

[1] zie HSL Advies Betonconstructie Stappenplan herstelmethodiek, RIS430-3

1.3. Beschrijving werkzaamheden

De werkzaamheden bestonden uit de volgende onderdelen (zoals beschreven in HSL Advies Betonconstructie, Stappenplan herstelmethodiek d.d. 30 april 2014):

1. inventarisatiefase:
   - in deze fase zijn alle beschikbare rapporten en uitgevoerde inventarisaties verzameld;
2. bureaustudie:
   - tijdens de bureaustudie wordt de beschikbare informatie en data doorgenomen en geanalyseerd (met name de eerder verrichtte onderzoeken). Geleverd product van deze fase is de Voorstudie betononderzoek Tunnel Rotterdam Noord d.d. 4 december 2014. In deze voorstudie wordt ook bepaald welke moten en onderdelen er onderzocht worden en hoeveel boringen er verricht worden om de schadebeelden goed in kaart te brengen;
3. inspectiefase:
   - tijdens de inspecties zijn op representatieve locaties kernen geboord en zo nodig metingen verricht om een goed beeld te vormen van de huidige toestand met alle voorkomende schades van de constructie. De boringen zelf zijn uitgevoerd in 2 fasen, een eerste fase waarin hoofdzakelijk kernen uit de trappenhuizen en de gesloten tunnelmoten zijn geboord en een tweede fase die voornamelijk gericht was op boringen uit de stempels en de open toeritten. De inspectiewerkzaamheden zijn beschreven in een werk- en veiligheidsplan;
4. risicoanalyse:
   - aan de hand van het onderzoek en de eerder uitgevoerde onderzoeken zullen wij de gevolgen van de geconstateerde gebreken in een risicoanalyse zetten. Risico's zijn geïnventariseerd, gekwantificeerd en beheersmaatregelen opgesteld en geëvalueerd;
5. onderzoeksfase:
   - de kernboringen zijn in een laboratorium beproefd op een aantal standaard testmethodes. De resultaten van de boringen en de labonderzoeken zijn verwerkt in bijlage I tot en met III van deze rapportage;
6. advies herstelmethodiek:
   - uiteindelijk zijn herstelmaatregelen voorgesteld om ervoor te zorgen dat de aangetaste constructiedelen de contractlevensduur van 100 jaar halen. Daarnaast zijn ook monitoringsmaatregelen om de voortgang van de schademechanismen in kaart te brengen om een geschikt moment van ingrijpen te bepalen.

1.4. Projectscope

De analyse van de resultaten van de inventarisatie, inspectie en onderzoek moeten leiden tot een duidelijk beeld en vaststelling van de omvang en de ernst van de schade, de kwaliteit en restlevensduur van de constructie, alsmede te komen tot de keuze van een duurzame herstelmethodiek voor de instandhouding van de constructie voor de gewenste totale levensduur van minimaal 100 jaar.

In eerste instantie is een voorinspectie gedaan en een werkplan opgesteld om te onderzoeken welke moten van Tunnel Rotterdam Noord een representatief beeld geven van de gehele tunnel. Uiteindelijk zijn er boringen uitgevoerd en metingen verricht aan de betonnen stempels, de buitenwanden en het dek van de westbuis van de TRN en het trappenhuis aan de westzijde.

1.5. Uitgangspunten

Om te komen tot een gericht onderzoek zijn er de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- voor de steekproefgrootte is gebruik gemaakt van ISO 2859:
  - voor het open deel is een normale steekproef (13 moten) toegepast;
  - voor het gesloten deel is een verminderde steekproef (5 moten) toegepast (minder schade geconstateerd);

- de wanden onder maaiveld zijn buiten beschouwing gelaten, aangezien de grondwaterstand er voor zorgt dat CO_2 niet kan binnendringen;
- er is aangenomen dat een vorst-dooiwisseling in het laboratorium (+20°C naar -20°C en verzadigd met water) ongeveer gelijk is aan minimale vorst-dooiwisseling van -2°C en 2°C, waarbij er in de 2 weken voorafgaand minimaal 10 mm neerslag is gevallen;
- er is een lineair verloop aangehouden tussen de vorst-dooischade en het betonverlies/afname betondekking;
- voor het verloop van het carbonatatiefront wordt de richtlijn van RWS aangehouden.

2. BUREAUSTUDIE

2.1. Inleiding

Er zijn door BAM (aannemer onderbouw HSL) 2 onderzoeken verricht naar de schade in Tunnel Rotterdam Noord. Een duurzaamheidstudie van de stempels en gordingen (130030-rap-u-0008, revisie: A, datum: 20 september 2012) en een vervolgonderzoek carbonatatie (130030-rap-u-0010, revisie: B, datum: 17 juni 2014).

2.2. Analyse voorgaande onderzoeken

Uit de analyse van de bestaande rapporten is duidelijk geworden dat carbonatatie voor dit specifieke beton gebruikt in HSL-3 sneller verloopt dan verwacht. Carbonatatie alleen, ook met de hoge waarden gemeten hier, geeft geen afschilfering of scheuren. Carbonatatie kan wel tot een zwakke en poreuze cementsteen leiden die gevoeliger wordt voor vorst. De conclusie is dat de uiteindelijke schade is veroorzaakt door vorst, waarbij, bevestigd in de analyse, de carbonatatie een voorwaarde is. Het aanwezige mos neemt deel aan het schademechanisme en versterkt dit door het vasthouden van water.

De volgende opmerkingen zijn belangrijk om rekening mee te houden bij de beschrijving van het schademechanisme:
- carbonatatie van beton begint vanaf het moment dat het betonoppervlak blootgesteld is aan lucht;
- de carbonatatie van beton met CEM III/B leidt tot een poreuzere microstructuur van de cementsteen ten opzichte van de niet gecarbonateerde microstructuur;
- mos groeit op vochtig beton met lage pH. Poriën en scheuren op het betonoppervlak faciliteren de bevestiging van de wortels van het mos.

Het is niet mogelijk exact te achterhalen wat er precies is gebeurd op basis van de beschikbare informatie en de huidige observaties op de HSL-3 constructieve elementen. Maar op basis van de analyse, blijkt het volgende mechanisme een plausibele en logische scenario te zijn voor de geobserveerde schade van het HSL-3 beton.

Het schademechanisme kan beschreven worden als een aantal opvolgende gebeurtenissen, die deels afhankelijk en deels onafhankelijk van elkaar kunnen verlopen.

1) na het ontkisten van de constructieve elementen wordt het betonoppervlak blootgesteld aan de CO2 van de lucht. De carbonatatie van de cementsteen van het HSL-3 beton begint en leidt tot een poreuze microstructuur van de buitenste laag van het beton.

2) de poreuze microstructuur van de buitenste laag van het HSL-3 beton kan na regen tot vochtopname leiden. Als het betonoppervlak verzadigd wordt met water, kan het 2 gevolgen hebben, die als de volgende deel-mechanismen (3a) en (3b) beschreven kunnen worden.

3a) bij een verlaging van de temperatuur tot minder dan 0°C, kan het poriewater in water verzadigd beton bevriezen. Het water zet uit met als gevolg het scheuren van de cementsteen. Scheuren van vorst en de poreuze microstructuur van beton door de carbonatatie kan met genoeg vochtigheid de groei van mos faciliteren. Dan volgt het mechanisme beschreven in (3b). Het is ook mogelijk dat de scheuren ten gevolge van vorst en de poreuze microstructuur van beton door carbonatatie water vasthouden. Bij een verlaging van de temperatuur tot minder dan 0°C zal het poriewater weer bevriezen. Dit is de herhaling van dit deel-mechanisme (3a).
3b) de combinatie van water vasthouden en de poreuze microstructuur van het HSL-3 beton leidt tot mosgroei. De mosgroei houdt na regen water gedurende langere tijd vast en bij een verlaging van temperatuur tot minder dan 0°C bevriest het poriewater en veroorzaakt vorstschade. Het water vasthouden en bevriezen is het mechanisme dat beschreven in (3a).

2.3. Vorstschade

De 2 deel-mechanismen beschreven in (3a) en (3b) versterken elkaar en leiden tot degradatie van de microstructuur van de buitenste laag van het HSL-3 beton. De uiteindelijke schade aan het betonoppervlak wordt veroorzaakt door vorst. Het is belangrijk op te merken dat het mos water kan vasthouden gedurende langere tijd, waardoor meer schade kan optreden. Het HSL-3 beton zonder mos heeft namelijk de mogelijkheid te drogen, waardoor vorstschade niet zal optreden. Het HSL-3 beton met mos zal in perioden zonder veel neerslag maar met hoge relatieve vochtigheid het water vasthouden. Wanneer een dergelijke periode gevolgd wordt door lage temperaturen (lager dan 0°C) zal vorstschade optreden. Dus de aanwezigheid van mos verergert de situatie.

Vorstschade is een gebeurtenis-afhankelijk proces in plaats van een continu proces, zoals carbonatatie of chloride-indringing. De schade is progressief, en de grootte van schade zal toenemen met het aantal schadeveroorzakende gebeurtenissen. Ook kan opgemerkt worden dat in de praktijk wordt geconstateerd dat de schade toeneemt met de afkoelsnelheid. Dit berust op het feit dat de tijd die beschikbaar is om het onder druk gezette water te laten diffunderen naar de in het beton aanwezige expansieruimte afneemt.

2.4. Carbonatatie

Enkele opmerkingen om de beschreven schademechanismen te verklaren:
- de carbonatatie van het HSL-3 beton verloopt op een versnelde manier. Dat betekent dat de carbonatatie de microstructuur van het beton snel poreus maakt en het degradatiemechanisme op relatief jonge leeftijd aanvangt. Het is waarschijnlijk dat het versneld carbonateren van de buitenste laag de doorgaande reactie van het beton verminderd, waardoor de gecarbonateerde laag zwak blijft;
- de grote carbonatatie en dientengevolge resulterende hoge porositeit kunnen het gevolg zijn van een niet of onvoldoende reageren van de componenten van het bindmiddel. De verwachte duurzaamheid (dichtheid) van het beton op de langere termijn is hierdoor niet ontstaan. Verdere cycli van het proces, zoals eerder beschreven in dit hoofdstuk, hebben als resultaat dat het beton verder degradeert. Deze opmerking kan uitleggen waarom het beton voor alle constructies (die ook gecarbonateerd zijn) niet dezelfde of vergelijkbare degradatie vertoont;
- in gevallen waar carbonatatie is vertraagd door het vasthouden van water (zoals op het horizontale oppervlak van gordingen en wanden) is de geobserveerde aantasting minder;
- het is onbekend op dit moment vast te stellen wat zo een hoge carbonatatie veroorzaakt. Van de analyse ligt een incompatibiliteit tussen de componenten van het bindmiddel is (klinker, hoogovenslak en vliegas) voor de hand en dat de beperkte hoeveelheid van geproduceerde Ca(OH)2 in de mengsels in sommige gevallen de hydratatie processen niet voldoende kan laten gebeuren.

3. OPZET VAN HET ONDERZOEK

3.1. Inleiding

Vanuit de bureaustudie is risicogestuurd bepaald;

1. welke onderdelen er onderzocht dienen te worden;
2. voor constructieve veiligheid dient er vooral in de trekzone beproefd te worden. Buitenwanden onder maaiveld buiten beschouwing omdat indringing CO2 en mosgroei niet aan de orde is;
3. hoeveel steekproeven er genomen moeten worden ten behoeve van betrouwbaarheid;
4. hoeveelheid steekproeven cf. NEN 3140, normale steekproefgrootte voor de open delen (verhoogd risico schademechanisme) en verminderde steekproefgrootte voor het gesloten deel;
5. welke onderzoeken er verricht dienen te worden om de schademechanismen goed in kaart te brengen:
   - uit eerder onderzoek kwam een verhoogde carbonatatie naar voren, welke in dit onderzoek ook meegenomen is. Vorst-dooi onderzoek is gedaan om een beeld te krijgen van het betonverlies in de tijd.

Uit de bureaustudie komt naar voren dat met name de (versnelde) carbonatatie in combinatie met mosgroei en vervolgens vorst de schade veroorzaakt. Op deze aspecten dient dan ook getoetst te worden. Verder is petrografisch onderzoek van belang om vast te stellen in hoeverre er reactie tussen de gebruikte bindmiddelen (klinker, slak, en vliegas) in het beton is opgetreden om te analyseren waardoor de versnelde carbonatatie kon plaatsvinden. Chloride onderzoek is enkel van belang in nabijheid van kruisende wegen in verband met mogelijkheid van strooizout. Op andere locaties speelt dit geen rol. Uit voorgaande onderzoeken blijkt tevens dat ASR en de invloed van agressieve stoffen geen rol van betekenis spelen. Onderstaande tabel toont welke onderzoeken uitgevoerd zijn per boorkern.

Tabel 3.1. Onderzoeken per moot

Moten				Onderzoeken						
	Nr.	Aantal	Omschrijving	Vorst/dooi	Carbonatatie	ASR	Chloride	Sterkte	Samenstelling	Mosgroei
	9	2	Westelijke buitenwand hoog vanaf maaiveld (2x)	x	x	x	x	x	x	x
	15	1	Westelijke buitenwand hoog vanaf maaiveld	x	x					x
Gesloten deel	**17**	2	Onderzijde dek, westelijke buitenwand midden	x	x					x
Gesloten deel	26	2	Onderzijde dek, westelijke buitenwand midden	x	x					x
Gesloten deel	**50**	2	Onderzijde dek, westelijke buitenwand midden	x	x					x
Gesloten deel	**74**	3	Onderzijde dek (1x), westelijke buitenwand midden (2x)	x	x	x	x	x	x	x
Gesloten deel	**96**	2	Onderzijde dek, westelijke buitenwand midden	x	x					x
Open deel	104	3	Westelijke Buitenwand midden (1x), stempel bovenzijde (2x)	x	x	x	x	x	x	x
Open deel	109	9	B/O/Z/Z/ stempel midden (4x) B/O/Z/Z stempel trapgat (5x, extra boring aan bovenzijde)	x	x	x	x	x	x	x
Open deel	115	1	Bovenzijde stempel	x	x					x
Open deel	117	1	Bovenzijde stempel	x	x					x
Open deel	122	8	B/O/Z/Z/ stempel midden B/O/Z/Z stempel trapgat	x	x					x
Open deel	129	1	Onderzijde dek (2x)	x	x	x	x	x	x	x
Open deel	133	8	B/O/Z/Z/ stempel midden B/O/Z/Z stempel trapgat	x	x					x
Open deel	**136**	1	Bovenzijde stempel	x	x					x
Open deel	141	8	B/O/Z/Z/ stempel midden B/O/Z/Z stempel trapgat	x	x					x
Open deel	151	1	Westelijke buitenwand hoog vanaf maaiveld	x	x					x
Open deel	156	1	Westelijke buitenwand hoog vanaf maaiveld	x	x					x

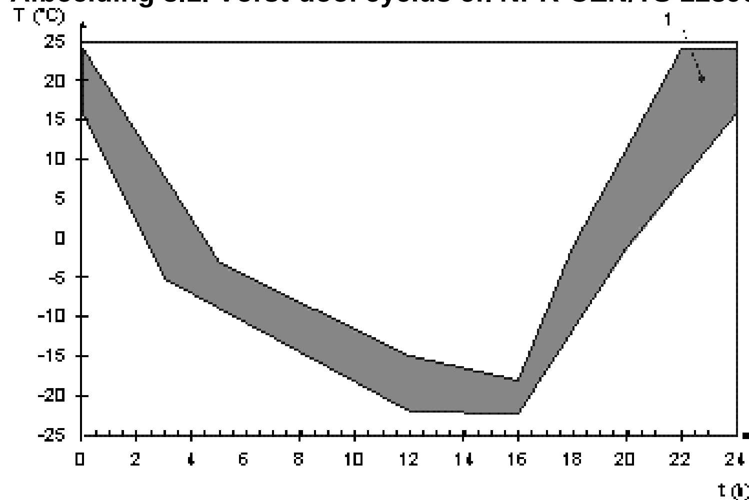
In bijlage I is op de overzichtstekening aangegeven bij welke moten en welk onderdeel de kernen geboord zijn.

3.2. Vorst/dooi beproeving

De kernen zijn beproefd volgens de richtlijn NPR-CEN/TS 12390-9 (beproeving van verhard beton - Deel 9: Vorst/dooi-bestandheid – Afschilfering). Er zijn verschillende test methodes beschikbaar, echter geen enkele methode kan de exacte condities buiten nabootsen. Dit is een belangrijke kanttekening bij de interpretatie van de onderzoeksresultaten. De resultaten kunnen wel goed vergeleken worden met de norm die bepaald hoeveel beton er mag afschilferen tijdens een aantal vorst/dooi cycli. De uiteindelijke vertaling naar een verwachting van betonverlies in de toekomst zal gebeuren middels expert judgement. Hierbij wordt er gekeken naar de condities (temperatuur en neerslag) ter plaatse van het object, om een verwachting te doen van het aantal vorst/dooi cycli per jaar.

Een vorst-dooi cyclus wordt in richtlijn conform onderstaande afbeelding beschreven. Een vorst-dooi cyclus loopt van een positieve temperatuur naar een negatieve en weer positief. Deze definitie van een cyclus wordt aangehouden in deze rapportage.

Afbeelding 3.1. Vorst-dooi cyclus cf. NPR-CEN/TS 12390-9



3.3. Carbonatatiemeting

Carbonatatie is een chemische reactie waarbij koolstofdioxide reageert met calciumhydroxide waarbij onoplosbaar calciumcarbonaat wordt gevormd (als neerslag). Hiertoe zal de koolstofdioxide eerst oplossen in water. Calciumhydroxide zorgt voor het alkalische milieu in het beton en beschermt zo de wapening. Door de carbonatatiereactie daalt de pH-waarde uiteindelijk tot onder de 8 à 9, waardoor corrosie van de wapening (betonrot) mogelijk wordt.

Bij alle geboorde kernen is in het boorgat de carbonatatiediepte gemeten. Dit gebeurt door een oplossing met een reagens die paars verkleurd bij een PH-waarde van circa kleiner dan PH 8. Einde van de verkleuring geeft het carbonatatiefront aan, per boorgat zijn er 4 metingen verricht.

3.4. Alkali-silicareactie (ASR) onderzoek en samenstelling

Alkali Silica Reactie (ASR) is een schademechanisme dat het beton inwendig uit elkaar drukt. Het gaat hierbij om een reactie tussen Alkali (vooral uit het cement) en Silika (vooral uit het zand en grind). De reactie trekt water aan en de gevormde gel gaat hierdoor zwellen. Zo wordt het beton van binnen uit kapot gedrukt. Als het carbonatatiefront bij de wapening is aangekomen, kan de passiveringslaag rondom het wapeningsstaal verdwijnen. Het staal wordt gevoelig voor verdergaande corrosie, mits voldoende vocht en zuurstof aanwezig zijn.

Bij een aantal kernen wordt een slijpplaatje vervaardigd voor een microscopische beoordeling. Hierbij wordt gekeken of er ASR gevoelige korrels aanwezig zijn en of er indicaties zijn van een alkali-silicareactie. Daarnaast wordt de samenstelling bepaald van het beton.

3.5. Chloride onderzoek

Ook chloride tast de passiveringslaag rondom wapeningsstaal aan. Chloride indringing kan optreden door het oplossen van dooizouten, die vervolgens het beton binnendringen. Chloride-indringing vindt plaats via capillaire opzuiging, hydrostatische druk en diffusie.

Bij een aantal kernen wordt het chloridengehalte bepaald op verschillende betondiepten.

3.6. Sterkte onderzoek

Bij een aantal kernen is ook de druksterkte bepaald als referentie van druksterktemetingen uit eerdere onderzoeken. Het druksterkteonderzoek is uitgevoerd volgens NEN-EN 12540-1, NEN-EN 12390-3:2009 en NEN-EN 12390-7:2009.

3.7. Mosgroei waarnemingen

Tijdens het eerder verrichtte onderzoek zijn er 2 korstmos soorten geconstateerd, 1 met wortels en 1 zonder. Juist het korstmos met wortels kan er voor zorgen dat betonschollen eerder en makkelijker loskomen/gevormd worden. Bepalende factoren voor het groeien van korstmos zijn zonlicht, vocht en PH-waarde. Wanneer het basische beton zuurder wordt kunnen korstmossen gaan groeien, als de buitenlaag dan ook nog poreus is kunnen wortels beter groeien.

Van elke boorlocatie is een foto genomen. Bij de locaties buiten en dan met name de stempels wordt ook de waarneming van mosgroei meegenomen.

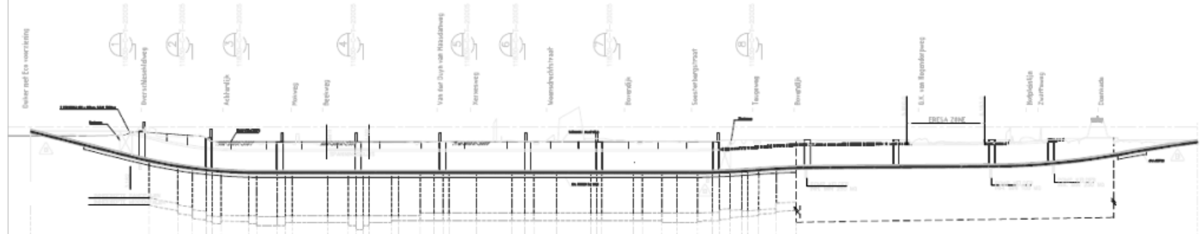
4. GEGEVENS

4.1. Gegevens van de constructie

4.1.1. Inleiding

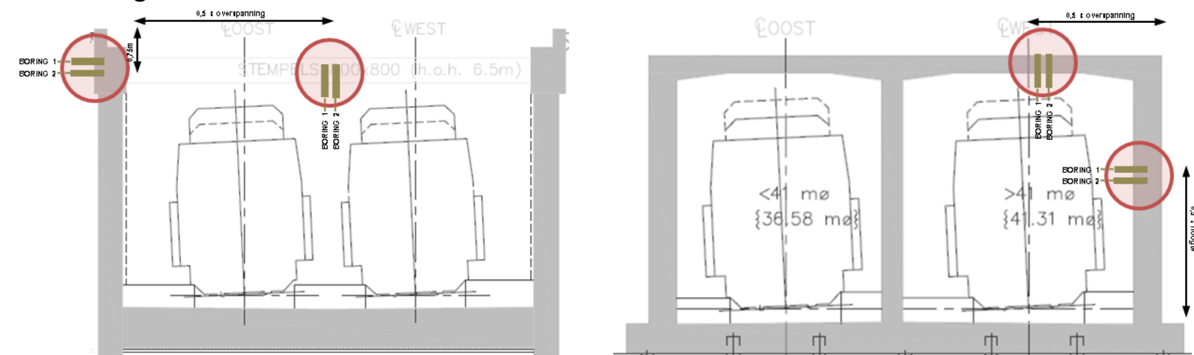
De tunnel kan grofweg ingedeeld worden in een open en gesloten gedeelte. Afbeelding 4.1. toont een langsdoorsnede van de gehele tunnel, waarbij tevens de trappenhuizen zijn aangegeven langs het traject.

Afbeelding 4.1. Langsdoorsnede tunnel



In onderstaande afbeelding zijn 2 dwarsdoorsneden getoond van de toerit en het gesloten deel van de tunnel. Tevens zijn omcirkeld op welke locaties boringen zijn uitgevoerd.

Afbeelding 4.2. Dwarsdoorsnedes tunnel en toerit



Aangezien het microklimaat van grote invloed is op de carbonatatiediepte zijn er meer boringen verricht in de open gedeelten:

- gesloten deel (82 moten) verminderde steekproef -> inspectie 5 moten;
- open deel (80 moten) normale steekproef -> inspectie 13 moten.

Tijdens een visuele voorinspectie van de tunnel op dinsdag 21 oktober is er bekeken welke moten het meest geschikt zijn op basis van schade, bereikbaarheid en microklimaat.

4.1.2. Gesloten deel

In het gesloten deel zijn er 5 moten onderzocht met in totaal 11 boringen genomen in de trekzones van dak en wand. De boringen zijn alle uitgevoerd vanaf de Windhoff.

4.1.3. Open deel

In het open deel zijn er 13 moten onderzocht (normaal) met in totaal 46 boringen genomen in de stempels en uit de buitzijde van de wanden van de open bak:

- stempels open bak. De boringen van de stempel die in het midden van de stempel genomen zijn, zijn vanaf de Windhoff genomen (23 boringen);

- stempels trappenhuizen. De boringen van de stempels aan de rand zijn via de vier trappenhuizen door middel van een rolsteiger/werkplateau bereikt (16 boringen). Bij de 4 stempels zijn vanaf alle zijden boringen verricht per boorlocatie, bij de overige 4 stempels enkel boven- of onderzijde;
- buitenwand moot 104. Bij 1 moot zal er met behulp van de Windhoff 2 kernen geboord zijn van de buitenwand vanuit de open bak;
- buitenwand maaiveld. Daarnaast zijn er bij 4 moten kernen geboord vanaf maaiveld in de buitenwand (rand buitenwand circa 0,7-1 m hoog).

4.1.4. Betongegevens

In de onderstaande tabel zijn de toegepaste betonmengsels weergegeven. In bijlage III staan de specificaties van de desbetreffende betonmengsels.

Tabel 4.1. Betongegevens

Onderdeel	Moot	Km tot km	Stempel		gording		Wand/dak	
			Code	Sterkte	Code	Sterkte	Code	Sterkte
Toerit zuid	1 t/m 8	2.834-3.039					C	B35
	9 t/m 16	3.039-3.247					C	B35
Gesloten tunnel	17 t/m 26	3.247-3.497					M	B35
	27 t/m 73	3.497-4.669					M	B35
	74 t/m 96	4.669-5.248					M	B35
Open bak	97 t/m 107	5.248-5.520						
Open bak diepwa	108 t/m 125	5.520-5.962	A	B25	A	B25		
	126 t/m 136	5.962-6.274	A	B25	A	B25		
	137 t/m 150	6.274-6.632	A	B25	A	B25		
	141 en 143		J	B45	A	B25		
	147 t/m 150		A	B25	T	B35		
Toerit noord	151 t/m 162	6.632-9.931					C	B35

4.2. Weergegevens

4.2.1. Weerstation Rotterdam

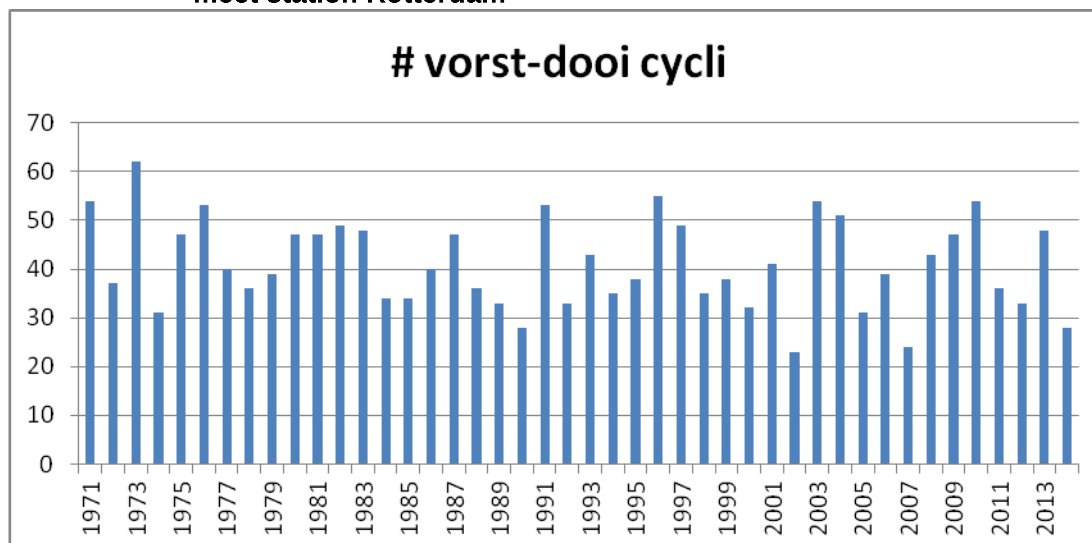
Nabij Rotterdam – The Hague Airport bevindt zich een weerstation van de KNMI. Vanaf 1956 zijn hier weergegevens verzameld. Vanuit deze weergegevens kunnen de vorst-dooi cycli van de afgelopen jaren bepaald worden om zo een betrouwbare verwachting te kunnen geven van het aantal vorst-dooi cycli voor de komende jaren. De weergegevens zijn gebruikt tot en met 2014.

4.2.2. Vorst-dooi cycli

Voor het bepalen van het aantal vorst-dooi cycli zijn 2 waarden van belang de maximum gemeten temperatuur en de minimum gemeten temperatuur op 10 cm boven maaiveld. Vanaf 1971 worden beide waarden gemeten in Rotterdam. In deze rapportage wordt gesteld dat er sprake is van een vorst-dooi cyclus wanneer de maximum gemeten temperatuur boven de 2°C is gekomen en de minimum gemeten temperatuur onder de -2°C op 10 cm boven het maaiveld. Dit is geen exacte wetenschap, echter wordt hier rekening gehouden met de vertraging van de opwarming en afkoeling van het beton.

In de onderstaande tabel zijn het aantal vorst-dooi cycli gegeven volgens eerder genoemde randvoorwaarde (>2°C en <-2°C). Het gemiddelde aantal cycli gemeten tussen 1971 en 2014 is 41 vorst-dooi cycli per jaar. In de afgelopen 10 jaar (2005 tot en met 2014) is de gemiddelde waarde 38 vorst-dooi cycli per jaar.

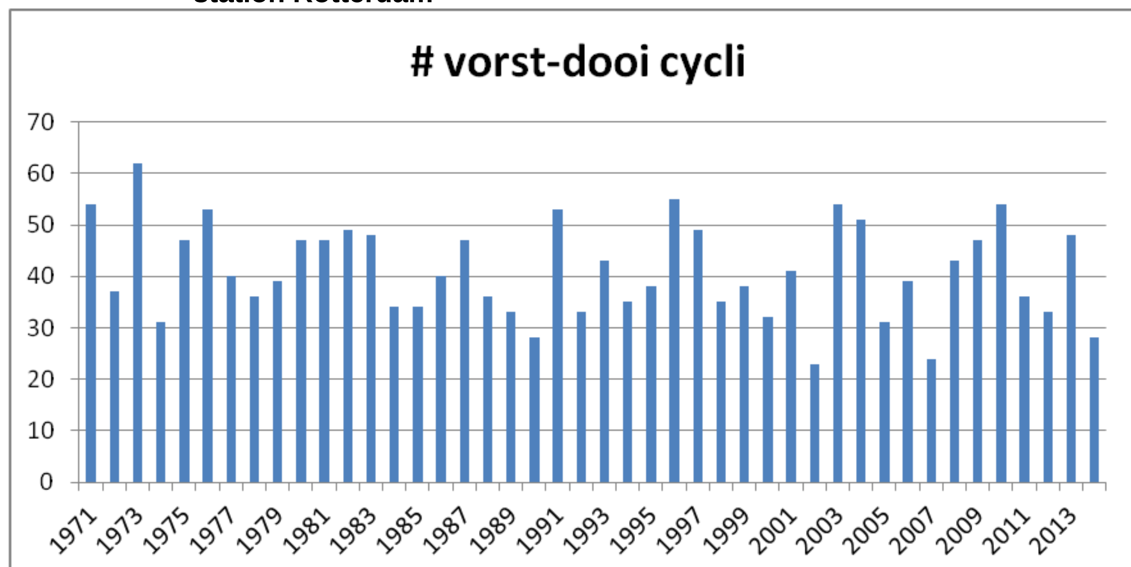
Tabel 4.2. **Aantal vorst-dooi cycli per jaar (>2°C en <-2°C) tussen 1971 en 2014, meet station Rotterdam**



In de tunnel zal de temperatuur van het beton hoger zijn dan die bijvoorbeeld bij de stempels die van alle zijden gevoelig is voor temperatuurswisselingen in de lucht. Voor het beton in de tunnel zijn andere randvoorwaarden aangehouden voor een vorst-dooi cyclus, namelijk de maximum gemeten temperatuur boven de 5°C is gekomen en de minimum gemeten temperatuur onder de -5°C op 10 cm boven het maaiveld.

In de onderstaande tabel zijn het aantal vorst-dooi cycli gegeven volgens eerder genoemde randvoorwaarde (>5°C en <-5°C). Het gemiddelde aantal cycli gemeten tussen 1971 en 2014 is dan 30 vorst-dooi cycli per jaar. In de afgelopen 10 jaar (2005 tot en met 2014) is de gemiddelde waarde 26 vorst-dooi cycli.

Tabel 4.3. **Aantal vorst-dooi cycli per jaar (>5°C en <-5°C) tussen 1971 en 2014, meet station Rotterdam**



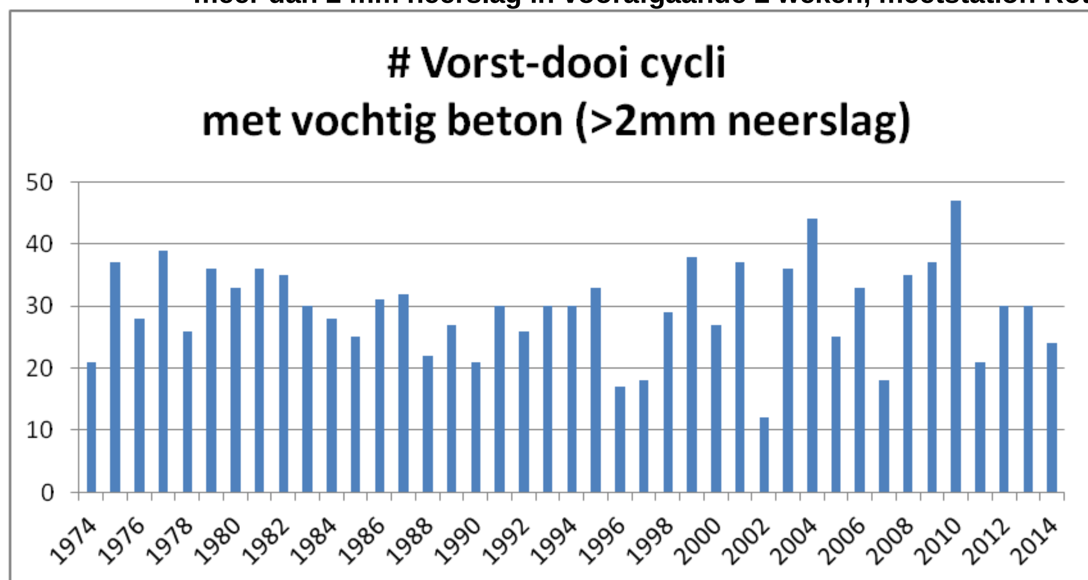
4.2.3. Neerslag

Vorstschade in het beton kan enkel optreden als het vochtgehalte hoog genoeg is dat het uitzetten van de watermoleculen (ijsvorming) in de poriën van het beton schade veroorzaken.

Daarom is er ook de analyse gedaan of er voorafgaand aan de vorstdooi cyclus ook neerslag is gevallen. Vanaf 1974 zijn er neerslaggegevens beschikbaar van meetstation Rotterdam.

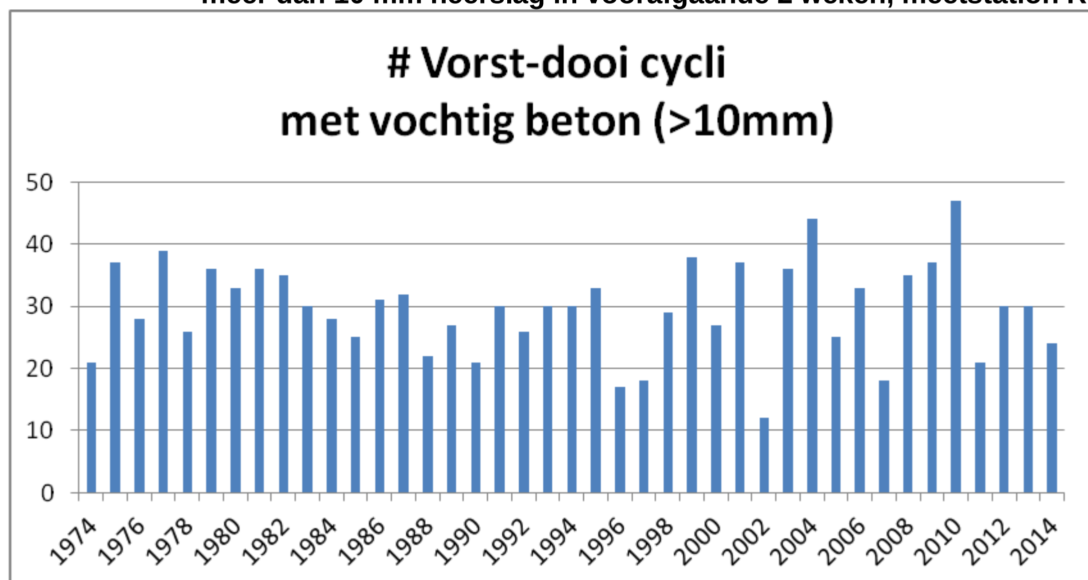
De aanname die gedaan wordt voor vochtig beton in de buitenlucht is dat er in de voorafgaande periode van een vorst-dooi cyclus het minimaal 2 weken van te voren geregend moet hebben. In de onderstaande tabel zijn het aantal vorst-dooi cycli gegeven volgens eerder genoemde randvoorwaarde (>2°C en <-2°C) en waarbij het de 2 weken ervoor geregend heeft, waarbij er in totaal meer dan 2 mm neerslag gevallen is. Het aantal cycli is gegeven bij verschillende neerslaghoeveelheden. Het gemiddelde aantal cycli gemeten tussen 1974 en 2014 is 37 vorst-dooi cycli. In de afgelopen 10 jaar (2005 tot en met 2014) is de gemiddelde waarde 36 vorst-dooi cycli.

Tabel 4.4. **Aantal vorst-dooi cycli per jaar (>2°C en <-2°C) tussen 1974 en 2014 met meer dan 2 mm neerslag in voorafgaande 2 weken, meetstation Rotterdam**



In de onderstaande tabel zijn het aantal vorst-dooi cycli gegeven volgens eerder genoemde randvoorwaarde (>2°C en <-2°C) en waarbij het de 2 weken ervoor geregend heeft, waarbij er in totaal meer dan 10 mm neerslag gevallen is. Het aantal cycli is gegeven bij verschillende neerslaghoeveelheden. Het gemiddelde aantal cycli gemeten tussen 1974 en 2014 is 30 vorst-dooi cycli. In de afgelopen 10 jaar (2005 tot en met 2014) is de gemiddelde waarde 30 vorst-dooi cycli.

Tabel 4.5. **Aantal vorst-dooi cycli per jaar (>2°C en <-2°C) tussen 1974 en 2014 met meer dan 10 mm neerslag in voorafgaande 2 weken, meetstation Rotterdam**



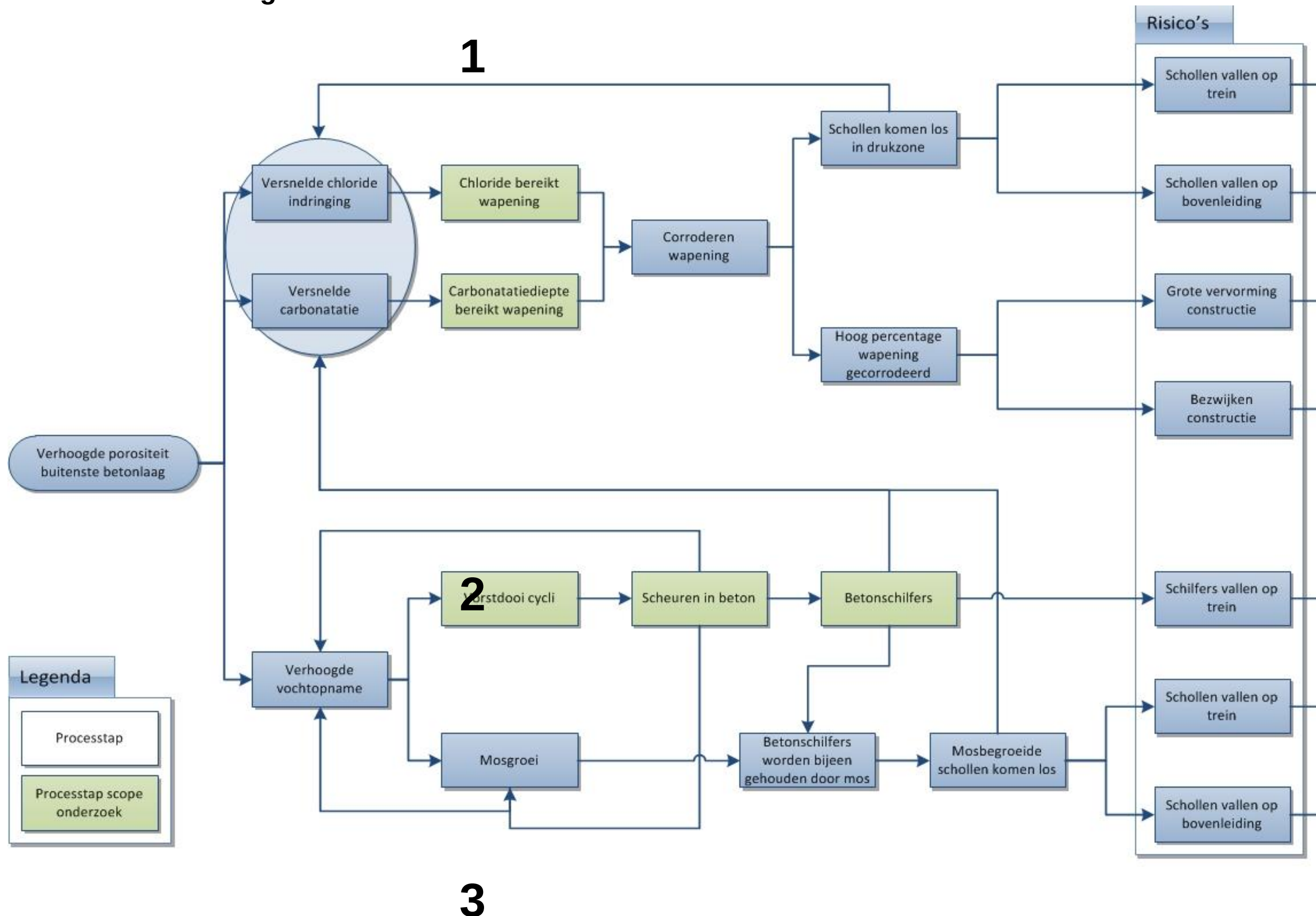
Als we een voorzichtige aanname doen voor het aantal vorst-dooi cycli per jaar waarbij er vorstschade op kan treden dan is dat 30 cycli per jaar. Met deze waarde zal in het volgende hoofdstuk verder gerekend worden.

5. SCHADEMECHANISMEN EN MAATREGELEN

5.1. Schademechanismen

Naar aanleiding van de eerder verrichtte onderzoeken en de onderzoeken uitgevoerd in het kader van deze rapportage zijn de opgetreden schademechanismen in kaart gebracht. In de onderstaande afbeelding zijn de schademechanismen visueel weergegeven middels een risicoboom.

Afbeelding 6.1. Risicoboom schademechanismen HSL TRN



De start van de schademechanismen is de verhoogde porositeit van de buitenste betonlaag. Hierdoor treedt er versnelde cloride- en carbonatatie-indringing en verhoogde vochtopname op. De eerste 2 mechanismen hebben direct invloed op de wapening wanneer het front deze bereikt heeft. De verhoogde vochtopname zorgt ervoor (door vorst-dooi schade) dat het beton kan afschilferen en het eerder genoemde front de wapening sneller bereikt.

Er zitten ook cyclische processen in het schademechanisme welke aangeduid zijn met nummers in de risicoboom:

1. corroderen van wapening zorgt voor een volumetoename van het staal waardoor er in de drukzone betonschollen kunnen worden weggedrukt. Hierdoor versnelt het chloride- en carbonatatiefront;
2. scheuren in het beton door vorst-dooi schade zorgen ervoor dat de vochtopname verhoogd wordt;
3. scheuren in het beton zorgen er ook voor dat mosgroei zich beter kan hechten aan het beton. Mosgroei zorgt er ook voor dat vocht beter wordt vastgehouden.

De processen die in dit onderzoek zijn meegenomen zijn in de risicoboom groen gekleurd, waarbij de nadruk ligt op carbonatatie en vorst-dooischade. Carbonatatie en onderzoek naar mosgroei is aan bod gekomen in eerdere onderzoeken.

5.2. Risico's schademechanismen

De risico's die kunnen optreden vanuit de schademechanismen (oorzaken) hebben betrekking op schollen en schilfers die vallen tot het uiteindelijk bezwijken van de constructie. In de onderstaande tabel zijn de kans van optreden en gevolgen van de risico's gegeven. De kans van optreden is kwalitatief bepaald aan de hand van de onderzoeksresultaten en wanneer er niet ingegrepen wordt. De gevolgen zijn ingeschat voor de aspecten kosten, tijd en imago. De risicoscore voor het vallen van schollen op de bovenleiding door het corroderen van de wapening is het hoogst.

De risicoscore voor het vallen van betonschollen op een trein en de bovenleiding door het corroderen van de wapening zijn het hoogst. De risico's zijn van hoog tot laag in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 6.1. Risicotabel HSL TRN

risico	oorzaak	gevolgen	kans	kosten	tijd	imago	score
schollen vallen op trein	schollen komen los in drukzone	schade, vertraging, imagoschade	5	2	2	2	30
schollen vallen op bovenleiding	schollen komen los in drukzone	schade, stremming, imagoschade	5	2	2	1	25
Schollen vallen op trein	mosbegroeide schollen komen los	schade, vertraging, imagoschade	4	1	2	2	20
schollen vallen op bovenleiding	mosbegroeide schollen komen los	schade, stremming, imagoschade	4	2	2	1	20
Bezwijken constructie	hoog percentage wapening gecorrodeerd	catastrofe, imagoschade	1	5	5	3	13
schilfers vallen op trein	Vorst-dooi cycli	imagoschade	4	1	1	1	12
grote vervorming constructie	hoog percentage wapening gecorrodeerd	schade, stremming, imagoschade	1	4	4	3	11

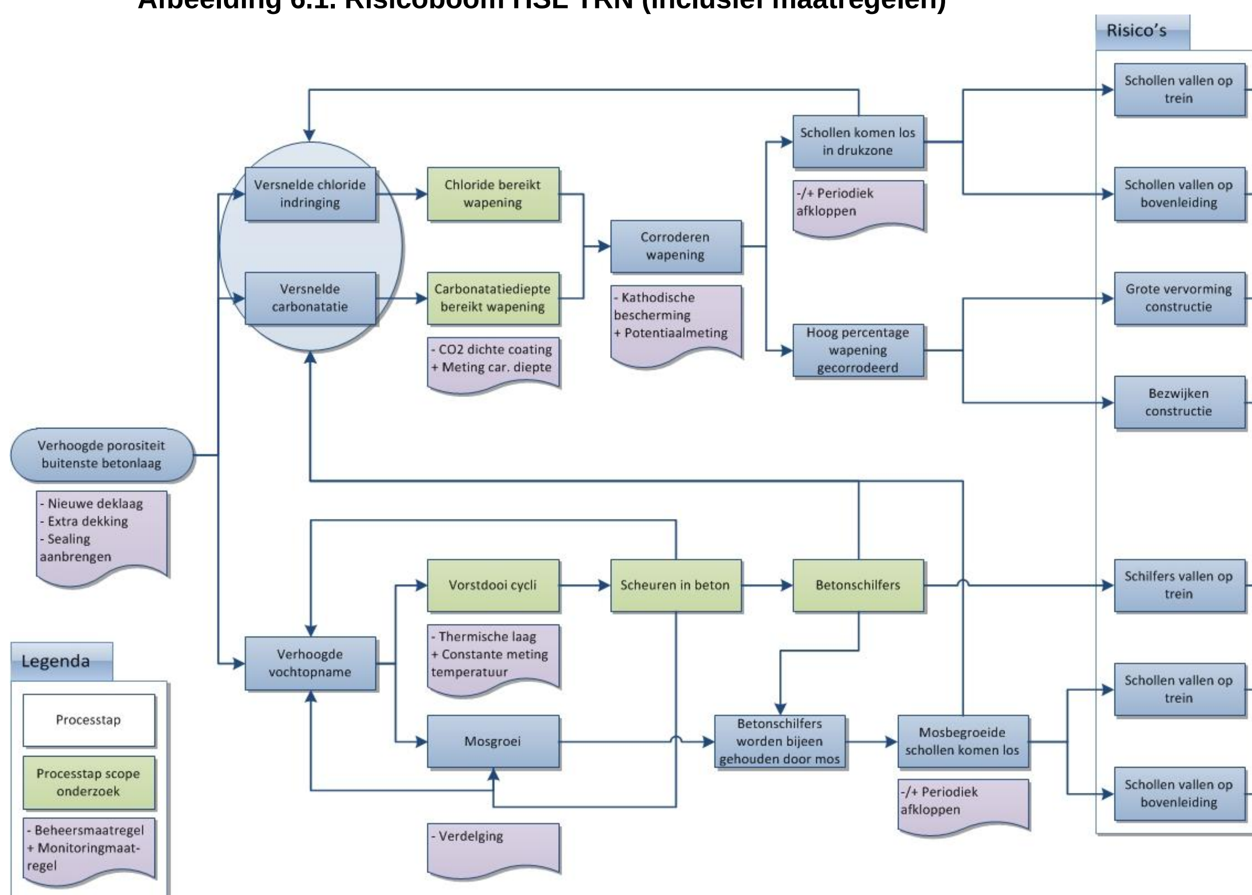
Tabel 6.2. Scoringstabel HSL TRN

klasse	kans	kosten	tijd	imago
1	0% - 5%	k€0 – k€10	0 – 1dg	laag
2	5% - 15%	k€10 – k€250	1dg – 5dgn	midden
3	15% - 30%	k€250 – m€1	5dgn – 1mnd	hoog
4	30% - 50%	m€1 – m€10	1mnd – 1jr	-
5	>50%	>m€10	>1jr	-

5.3. Maatregelen

Aan de hand van de risicoboom en de onderzoekresultaten zijn er maatregelen opgesteld om de processtappen in de risicoboom te monitoren (monitoringsmaatregel) of de kans van optreden (preventief) of gevolgen (correctief) te verminderen (beheersmaatregel). In de onderstaande afbeelding is de risicoboom weergegeven met de voorgestelde maatregelen.

Afbeelding 6.1. Risicoboom HSL TRN (inclusief maatregelen)



Per processtap zijn de voorgestelde maatregelen nader toegelicht:
- verhoogde porositeit buitenste laag:
  · beheersmaatregel - nieuwe deklaag:
    - door het verwijderen van de poreuze deklaag en het opnieuw aanbrengen van een nieuwe deklaag kan de porositeit van de buitenste laag verbeterd worden. Dit is een ingrijpende maatregel, waarbij goede uitvoering (hechting en afwerking) essentieel is;
  · beheersmaatregel - extra dekking:
  · door het aanbrengen van een extra deklaag (bijvoorbeeld spuitbeton) wordt de porositeit verbeterd en tevens de betondekking vergroot. Dit is een ingrijpende maatregel, waarbij goede uitvoering (hechting en afwerking) essentieel is. Daarnaast kan het profiel van vrije ruimte beperkingen opleggen voor het aanbrengen van een extra laag;
  · beheersmaatregel - sealing aanbrengen:
    - door het aanbrengen van een sealing worden holle ruimten opgevuld (impregneren) en een extra beschermende laag gecreëerd. Het impregneermiddel is wel ademend en dus met name bedoeld om de vochtindringing tegen te gaan. Het is een maatregel die al is uitgevoerd bij de stempels, maar geen of beperkt effect heeft gehad. De seal-laag heeft een beperkte levensduur, waardoor het schademechanisme na enkele jaren weer voortschrijdt;
- carbonatatiediepte bereikt wapening:
  · beheersmaatregel - CO2 dichte coating:
    - door het aanbrengen van een CO2 dichte coating wordt er een extra laag aangebracht op het beton. De coating trekt niet in het beton maar blijft hierop liggen. De coating is niet ademend en vertraagd dus het carbonatatieproces. Doordat de coating op het beton ligt bestaat er wel de kans dat het afgedrukt kan worden. Het aanbrengen van een coating is duurder, maar bestendiger dan een sealing;
  · monitoringsmaatregel - meting carbonatatiediepte:
    - door het periodiek meten van de carbonatatiediepte op vaste punten in de constructie kan het carbonatatieproces gemonitord worden en de progressie geëxtrapoleerd worden om te bepalen wanneer het carbonatiefront de wapening bereikt;
- corroderen wapening:
  · beheersmaatregel - kathodische bescherming:
    - Kathodische bescherming (KB) is een methode van corrosiebestrijding en berust op het principe van potentiaalverlaging van het te beschermen object. Door de potentiaal voldoende te verlagen wordt de anodereactie van ijzer tot ijzerionen zo sterk vertraagd dat hij praktisch te verwaarlozen is. De bescherming kan worden aangebracht op plekken waar het carbonatatiefront de wapening bereikt;
  · monitoringsmaatregel - potentiaalmeting:
    - door plaats voor plaats, volgens een uitgezet raster, het betonoppervlak af te tasten met een halfcel, kunnen potentiaalverschillen bepaald worden tussen de wapening en deze halfcel en met behulp van grafieken dan wel equipotentiaalvlakken (hoogtekaarten) in kaart worden gebracht. Plaatsen met een lage potentiaal (meer negatief) zullen dan mogelijke corrosieplaatsen zijn;

- vorst-dooi cycli:
  - beheersmaatregel - thermische bescherming:
    - door het aanbrengen van bijvoorbeeld een laag schuimbeton kan de betonconstructie thermisch ingepakt worden. Hierdoor wordt het aantal vorst-dooicycli sterk gereduceerd. Dit is een ingrijpende maatregel, waarbij goede uitvoering (hechting en afwerking) essentieel is. Daarnaast kan het profiel van vrije ruimte beperkingen opleggen voor het aanbrengen van een extra laag;
  - beheersmaatregel - beton afsluiten van water door middel van coating:
    - door het aanbrengen van een coating zal er geen verzadiging optreden van het beton (oppervlak) waardoor er ook geen schade meer op kan treden door bevriezing;
  - monitoringsmaatregel - temperatuur en vochtigheidssensors:
    - door in het beton sensors te plaatsen die de temperatuur en de vochtigheid meten op kritische plekken in de constructie kunnen de vorst-dooicycli en de afname van de dekking gekoppeld en gemonitord worden. Hierdoor krijgen we beter inzicht in het afnameverloop en verwachting over de technische levensduur van de constructie;
- mosgroei:
  - beheersmaatregel - verdelging:
    - door de mosgroei tijdig te verdelgen wordt voorkomen dat de wortels verdere schade kunnen aanrichten aan het beton;
- loskomen schollen:
  - beheersmaatregel/monitoringsmaatregel -periodiek afkloppen:
    - door het periodiek afkloppen van de constructie kan vroegtijdig slechte plekken in het beton worden ontdekt (monitoring). Daarnaast wordt door het afkloppen voorkomen dat er schollen loskomen op een later tijdstip;
  - beheersmaatregel - fijnmazig net plaatsen:
    - door bijvoorbeeld de stempels in te pakken met een fijnmazig net wordt voorkomen dat schollen naar beneden vallen. Eenzelfde constructie met een fijnmazig net is denkbaar bij het plafond.

6. BEVINDINGEN TECHNISCH ONDERZOEK

6.1. Metingen

Tijdens het boren van de kernen in de tunnel zijn terplekke foto's gemaakt en is er in het boorgat de carbonatiediepte gemeten. De gemaakte foto's en de metingen van de carbonatatiediepte worden separaat meegestuurd met deze rapportage. Vervolgens zijn in het laboratorium de volgende proeven uitgevoerd; Visuele inspectie, Vorst-dooi, Druksterkte, Carbonatatiediepte, Chloridenprofiel en Petrografisch onderzoek. Het rapport van het laboratorium onderzoek is bijgesloten in bijlage II.

6.1.1. Visuele inspectie

Tijdens de voorinspectie is ter plaatse van de trappenhuizen in het open gedeelte mosgroei geconstateerd (zie afbeelding 6.1.). Dit is het gedeelte van de stempel dat niet behandeld is in het kader van het aanbrengen van de Intelliseal. Onder de viaducten, in de schaduw en beschut, zijn de stempels nog als nieuw (zie afbeelding 6.2.). De mosgroei komt met name voor aan de bovenkant en de zijkant waar de afwatering over de stempel plaatsvindt. Over het algemeen is de noordzijde (niet in de zon) meer mossig dan de zuidzijde. De onderzijden van de stempels zien er veelal als nieuw uit (zie afbeelding 6.3.).

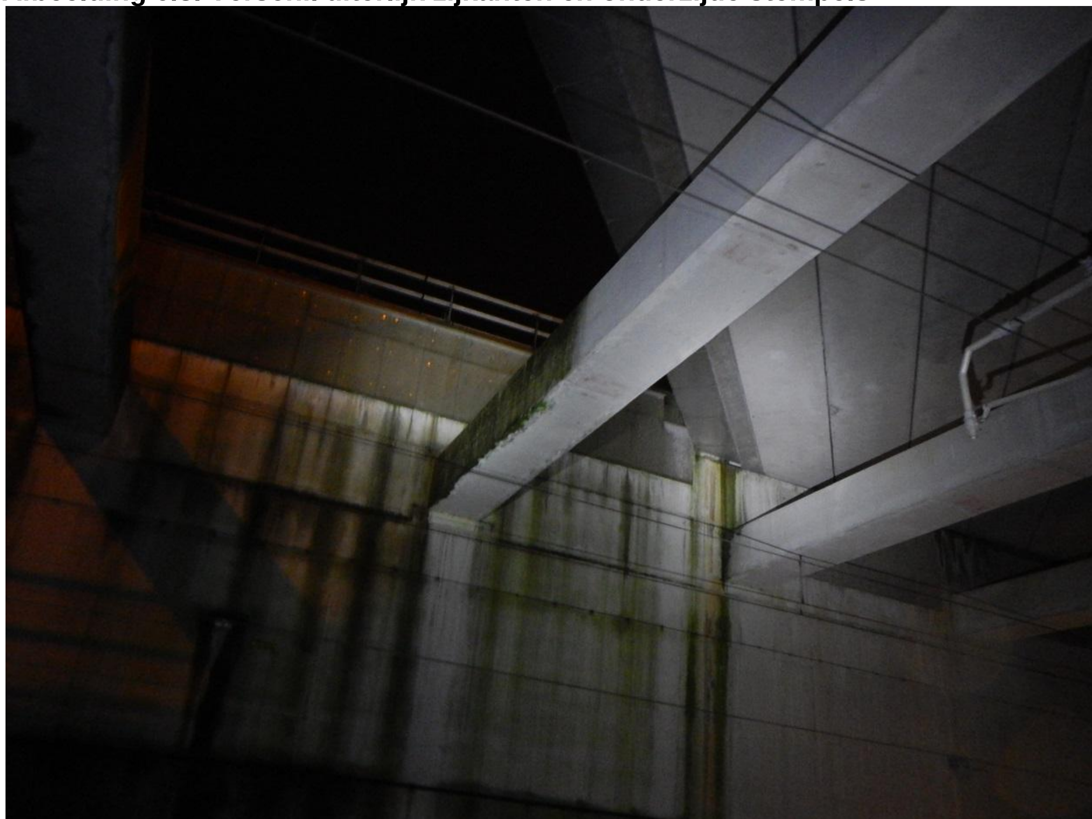
Afbeelding 6.1. Mosgroei op onbehandelde stempel



Afbeelding 6.2. Verschil uiterlijk beschutte en onbeschutte stempels



Afbeelding 6.3. Verschil uiterlijk zijkanten en onderzijde stempels



In het laboratorium zijn alle geboorde kernen visueel geïnspecteerd. De cilinders zijn over het algemeen matig tot goed verdicht met een kleine tot gematigde hoeveelheid luchtbellen.

De luchtbellen zijn klein tot matig groot van aard. Het toeslagmateriaal is in de regel rond, kwartsachtig en gaaf. In enkele cilinders is gebroken en amorf toeslagmateriaal aangetroffen. De Dmax varieert per cilinder (16 en 32 mm). In de meeste cilinders zijn verontreiniging met flint aanwezig. Dit kan een ASR gevoelig toeslagmateriaal zijn. Nergens zijn waterlenzen of enige vorm van segregatie (ontmenging) aangetroffen.

6.1.2. Vorst/dooi-cycli

De geboorde kernen zijn beproefd op vorst/dooi wisselingen conform de lab test van de NPR-CEN-TS12390-9 norm. De benodigde betoncilinder voor deze test zijn door het laboratorium uit de boorkernen gezaagd en volgens de richtlijnen op temperatuur gebracht, ingepakt en beproefd gedurende 56 dagen.

Bekeken is hoeveel kg/m^2 beton afsplintert na zowel 28 als 56 vorst/dooi-cycli, en deze waarde is vergeleken met een grenswaarde van 1,5 kg/m^2 na 28 cycli. De verwachting is dat het beton vorstbestendiger wordt richting de kern. Als we de grenswaarde na 56 cycli houden op 3,0 kg/m2 als grenswaarde is dit een conservatieve aanname. In onderstaande figuur is uiteengezet hoe zich dit vertaalt voor de kernen in zowel het gesloten als het open gedeelte. De rood gearceerde waarden voldoen niet aan de richtlijn en geëxtrapoleerde richtlijn.

Tabel 6.1. Resultaten metingen van de boorkernen

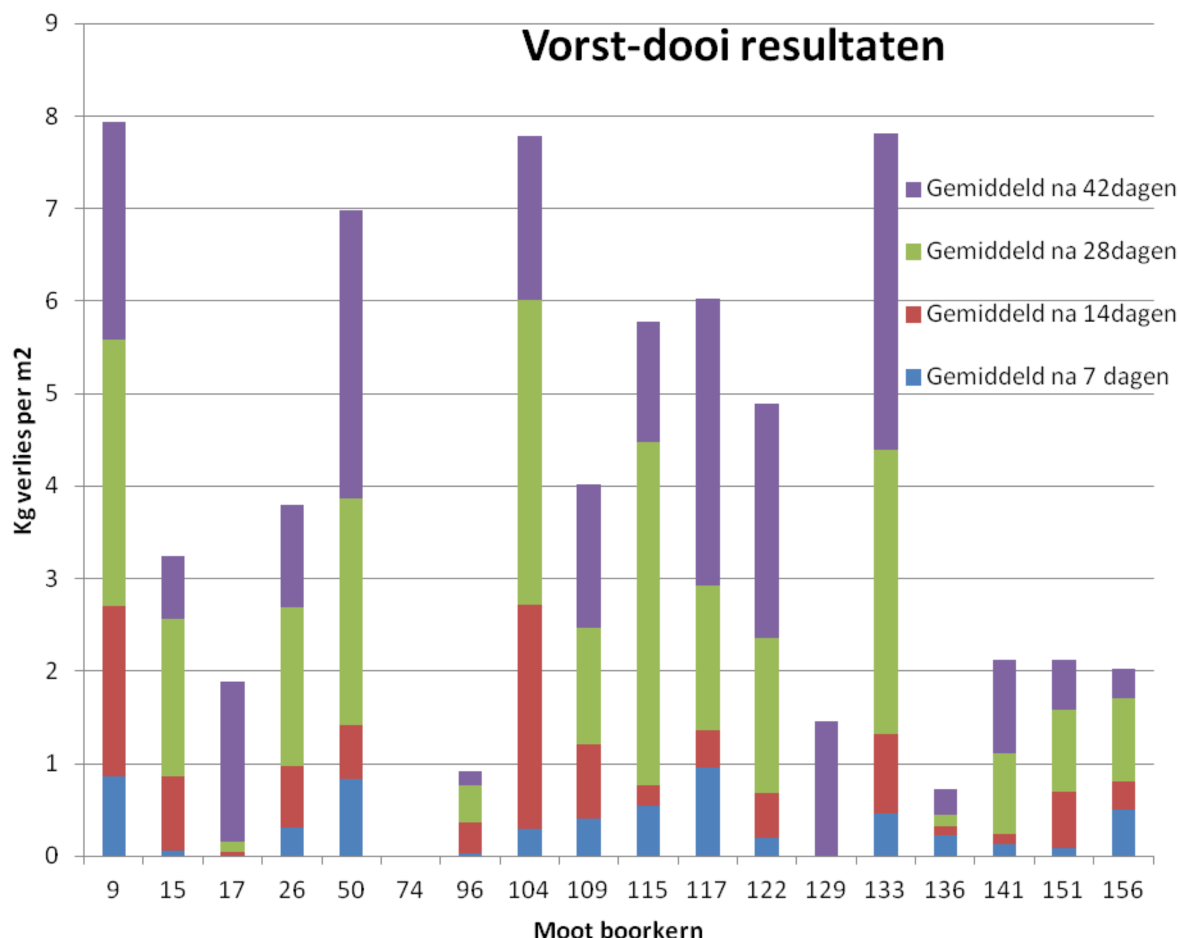
		Massaverlies per m2				
omschrijving	code	7 cycli	14 cylci	28 cycli	42 cycli	56 cycli
17-Onderzijde-dek	1	0	0	0	0,18	5,92
17-West-buitenwand-midden	2	0,02	0,08	0,3	3,58	4,7
26-Onderzijde-dek	3	0	0	0	0	0
26-West-buitenwand-midden	4	0,62	1,94	5,38	7,58	9,94
50-Onderzijde-dek	5	0,04	0,06	2,3	5,32	10,46
50-West-buitenwand-midden	6	1,64	2,76	5,42	8,64	12,96
74-Onderzijde-dek	7	0	0	0	0	0,02
96-Onderzijde-dek	10	0	0	0	0,04	0,06
96-West-buitenwand-Midden	11	0,06	0,74	1,54	1,8	1,98
104-West-buitenwand-midden	12	0,32	4,28	9,82	12,8	17,94
104-stempel-boven	13	0,28	1,16	2,2	2,78	6,82
109-stempelmidden-boven	15	0,26	0,62	1,3	2,28	3,06
109-stempelmidden-zij	16	0,18	1,06	2,8	5,32	5,54
109-stempelmidden-zij	17	0,2	0,4	1	2,18	3,36
109-stempelmidden-onder	18	1,3	2,04	3,7	5,6	6,1
115-stempel-boven	19	0,54	0,76	4,48	5,78	7,2
117-stempel-boven	20	0,96	1,36	2,92	6,02	9,06
122-stempelmidden-boven	21	0,52	1,62	2,2	4,96	6,32
122-stempelmidden-zij	22	0,52	1,06	4,84	7,36	10,54
122-stempelmidden-zij	23	0,02	0,02	0,06	5,68	10,5
122-stempelmidden-onder	24	0,1	0,16	0,56	2,82	4,74
129-onderzijde-dek	25	0	0	0	1,46	4,88
133-stempelmidden-boven	27	0,24	0,36	3,78	5,08	6,62
133-stempelmidden-zij	28	2,14	4,02	7,24	14,92	17,62
133-stempelmidden-zij	29	0,32	1,18	5,72	10,92	16,8
133-stempelmidden-onder	30	0,22	0,44	3,86	7,54	9,22

omschrijving	code	7 cycli	14 cylci	28 cycli	42 cycli	56 cycli
				Massaverlies per m2		
136-stempel-boven	31	0,22	0,32	0,44	0,72	0,86
141-stempelmidden-boven	32	0,2	0,34	0,54	0,7	0,98
141-stempelmidden-zij	33	0,02	0,16	1,7	2,98	3,18
141-stempelmidden-zij	34	0,02	0,02	0,04	1,08	2,94
141-stempelmidden-onder	35	0,28	0,42	2,14	3,72	4,6
9-West-buitenwand-hoog-maaiveld	36	0,86	2,7	5,58	7,94	10,6
15-West-buitenwand-hoog-maaiveld	38	0,06	0,86	2,56	3,24	3,92
109-stempeltrapgat-boven	39	0,2	0,3	0,62	0,9	1,4
109-stempeltrapgat-zij	40	0,4	2,9	4,12	6,6	8,12
109-stempeltrapgat-zij	41	0,92	2,52	4,64	5,58	7,18
109-stempeltrapgat-onder	42	0,04	0,66	3,6	7,1	9,5
109-stempeltrapgat-boven-extra	43	0,18	0,32	0,44	0,62	1,14
122-stempeltrapgat-boven	44	0,22	0,28	0,54	2,64	4,86
122-stempeltrapgat-zij	45	0,16	0,24	2,18	4,08	5,6
122-stempeltrapgat-zij	46	0	1,02	2,16	4,66	10,76
122-stempeltrapgat-onder	47	0,02	1,04	6,34	6,94	7,02
133-stempeltrapgat-boven	48	0,18	0,36	0,54	2,8	4,84
133-stempeltrapgat-zij	49	0,02	2,68	6,1	7,04	9,62
133-stempeltrapgat-onder	51	0,08	0,16	3,48	6,38	8,44
151-west-buitenwand-maaiveld	56	0,08	0,7	1,58	2,12	2,76
156-west-buitenwand-maaiveld	57	0,5	0,8	1,7	2,02	3,14
Gemiddeld		**0,32**	**0,96**	**2,61**	**4,48**	**6,46**
Gemiddeld open deel		**0,34**	**1,04**	**2,83**	**4,83**	**6,78**
Gemiddeld gesloten deel		**0,26**	**0,62**	**1,66**	**3,02**	**5,12**

open deel

gesloten deel

Afbeelding 6.4. Resultaten vorst-dooi van de boorkernen per moot



Te zien is dat bij moot 50 van het gesloten deel en de moten 9, 50, 104, 115, 117, 122 en 133 van het open deel de waardes erg hoog liggen en de grenswaarde sterk overschrijden. Uitschieters tot 17,9 kg/m^2 (133-stempelmidden-zij) komen hierbij zelfs voor. Een relatie tussen het wel of niet gesloten zijn van de tunnel, en daarmee de weersinvloeden, komen dus niet direct naar voren. Zowel in het gesloten als open deel zijn er moten die voldoen en niet voldoen.

Ook een relatie met de betonmengsels tussen verschillende delen lijkt niet aan de orde, aangezien sommige kernen van hetzelfde betonmengsel sterk afwijkende waardes geven van 0,0 kg/m^2 tot ruim boven de grenswaarde.

De richtlijn stelt een grens aan afschilfering van beton van 1500 g/m2 na 28 vorst/dooi cycli. Hier voldoen 30 van de huidige 47 proefstukken niet aan, kortom 2/3. Dit is over het deel van de kernen dat voornamelijk uit de trappenhuizen komt en waar niet veel schade was te verwachten.

Een gemiddeld verlies is gemeten van 6,46 kg/m2 na 56 dagen, voor beton van 2400 kg/m3 geeft dit een gemiddeld dekkingsverlies van 2,62 mm na 56 vorst-dooicycli.

6.1.3. Dekkingsmetingen

Als gekeken wordt naar de gemeten dekkingen van de kernen valt op dat deze waarde vaak groter is dan 50 mm. Een waarde van 50 mm is echter voorgeschreven conform de bouwtekeningen wat er op duidt dat er sprake is van plaatsingstoleranties van de wapening.

Hierdoor is de uitgangswaarde niet eenduidig vast te stellen, en is daarmee geen harde conclusie te trekken over het dekkingsverlies wat wellicht al is opgetreden door vorst/dooi-cycli gedurende de huidige levensduur van zo'n 10 jaar.

6.1.4. Carbonatatiedieptes

De carbonatatiedieptes zijn gemeten in de boorgaten van de kernen en ter referentie zijn ook enkele kernen zelf in het laboratorium beproefd op carbonatatie. De gemeten waardes van de boorkernen liggen globaal tussen de 5 en 12 mm, met enkele uitschieters naar 15 mm en meer. In de onderstaande tabel zijn de metingen weergegeven.

Om te bepalen of het carbonatatiefront de wapening bereikt wordt, net zoals in de duurzaamheidstudie van de stempels en gordingen (130030-rap-u-0008, revisie: A, datum: 20 september 2012), de Rijkswaterstaat richtlijn toegepast.

De manier van berekening is gebaseerd op de bepaling van de empirische factor A van de volgende vergelijking:

$$x_{c,1} = A \cdot \sqrt{t_1}$$

Waar
$x_{c,1}$ = de gemeten carbonatatie diepte op tijd t_1
A = een empirisch bepaalde factor (mm/$\sqrt{jaar}$)

Er is uitgegaan van een stortdatum van januari 2002 voor alle onderdelen, wat een conservatieve aanname is. De gemeten dekking wordt gebruikt om te bepalen of het carbonatatiefront na 100 jaar de wapening heeft bereikt. Op 1 kern (stempel trapgat zijkant, moot 122) na is de dekking na 100 jaar groter dan de berekende carbonatatiediepte.

Tabel 6.2. Carbonatatiedieptes boorgaten

Omschrijving	code	carbonatatie in boor-gat	carbonatatie maximum [mm]	carbonatatie A-factor	carbonatatie na 100jr [mm]	dekking [mm] kernmeting
17-Onderzijde-dek	1	3-4mm	4	1,15	11,55	60
17-West-buitenwand-midden	2	4-6mm	6	1,73	17,32	55
26-Onderzijde-dek	3	5-7mm	7	2,02	20,21	60
26-West-buitenwand-midden	4	10-12mm	12	3,46	34,64	60
50-Onderzijde-dek	5	9-12mm	12	3,46	34,64	60
50-West-buitenwand-midden	6	8-12mm	12	3,46	34,64	50
74-Onderzijde-dek	7	9-11mm	11	3,18	31,75	60
96-Onderzijde-dek	10	9mm	9	2,60	25,98	65
96-West-buitenwand-Midden	11	12-13mm	13	3,75	37,53	60
104-West-buitenwand-midden	12	9-12mm	12	3,46	34,64	90
104-stempel-boven	13	3-5mm	5	1,44	14,43	50
109-stempelmidden-boven	15	3-4mm	4	1,15	11,55	50
109-stempelmidden-zij	16	3-4mm	4	1,15	11,55	55
109-stempelmidden-zij	17	2-5mm	5	1,44	14,43	65
109-stempelmidden-onder	18	5-8mm	8	2,31	23,09	60
115-stempel-boven	19	9-11mm	11	3,18	31,75	45
117-stempel-boven	20	6-9mm	9	2,60	25,98	70

Omschrijving	code	in boor-gat	carbonatatie maximum [mm]	A-factor	na 100jr [mm]	dekking [mm] kernmeting
122-stempelmidden-boven	21	3-5mm	5	1,44	14,43	90
122-stempelmidden-zij	22	9mm	9	2,60	25,98	50
122-stempelmidden-zij	23	3-5mm	5	1,44	14,43	50
122-stempelmidden-onder	24	4-6mm	6	1,73	17,32	75
129-onderzijde-dek	25	3-4mm	4	1,15	11,55	60
129-onderzijde-dek	26	4-5mm	5	1,44	14,43	65
133-stempelmidden-boven	27	7-9mm	9	2,60	25,98	90
133-stempelmidden-zij	28	9-10mm	10	2,89	28,87	60
133-stempelmidden-zij	29	11mm	11	3,18	31,75	90
133-stempelmidden-onder	30	7-11mm	11	3,18	31,75	65
136-stempel-boven	31	1-3mm	3	0,87	8,66	65
141-stempelmidden-boven	32	2-3mm	3	0,87	8,66	90
141-stempelmidden-zij	33	2-3mm	3	0,87	8,66	70
141-stempelmidden-zij	34	2	2	0,58	5,77	70
141-stempelmidden-onder	35	2-3mm	3	0,87	8,66	60
9-West-buitenwand-hoog-maaiveld	36	10mm	10	2,89	28,87	50
15-West-buitenwand-hoog-maaiveld	38	5-7mm	7	2,02	20,21	60
109-stempeltrapgat-boven	39	3mm	3	0,87	8,66	57
109-stempeltrapgat-zij	40	5-10mm	10	2,89	28,87	56
109-stempeltrapgat-zij	41	5-10mm	10	2,89	28,87	60
109-stempeltrapgat-onder	42	5-7mm	7	2,02	20,21	45
109-stempeltrapgat-boven-extra	43	3mm	3	0,87	8,66	57
122-stempeltrapgat-boven	44	10-20mm	20	5,77	57,74	65
122-stempeltrapgat-zij	45	10-20mm	20	5,77	57,74	62
122-stempeltrapgat-zij	46	10-20mm	20	5,77	57,74	51
122-stempeltrapgat-onder	47			0,00	0,00	51
133-stempeltrapgat-boven	48	10-13mm	13	3,75	37,53	60
133-stempeltrapgat-zij	49	5-9mm	9	2,60	25,98	60
133-stempeltrapgat-onder	51	10-12mm	12	3,46	34,64	50
151-west-buitenwand-maaiveld	56	3mm	3	0,87	8,66	60
156-west-buitenwand-maaiveld	57	5-15mm	15	4,33	43,30	80
Gemiddeld			**8,40**	**2,38**	**23,76**	**62,27**
Gemiddeld open deel			**8,13**	**2,29**	**22,87**	**63,05**
Gemiddeld gesloten deel			**9,6**	**2,76**	**27,58**	**59**

open deel

gesloten deel

De referentiemetingen liggen qua gemiddelde waarde zeer dicht bij de boorgatwaardes, maar de maximale waardes van de kern zijn wat hoger. Dit is getoond in onderstaande figuur. Lokaal zullen de carbonatatiedieptes die gemeten zijn in het boorgat zelf nog een uitschieter hebben, die wat hoger zal liggen dan de genoteerde gemiddeldes.

De gemeten boorgatwaardes die gemiddeld al uitschieters hebben naar 15 mm zijn aan de hoge kant, aangezien dieptes van meer dan 15 mm in beton (meer dan 25 jaar oud) voorkomen. De mediane verdeling van de carbonatiedieptes liggen echter wel binnen normale grenzen.

Tabel 6.3. Carbonatatiedieptes referentiekernen

omschrijving	monstercode	gemiddeld	max
		mm	mm
74-West-buitenwand-Midden	9	14,6	18
9-West-buitenwand-hoog-maaiveld	37	8,6	15
133-stempeltrapgat-zij	50	10,8	23
104-stempel-boven	14	5	10
129-onderzijde-dek	26	7,4	12
109-stempeltrapgat-zij	41	8,2	15

6.1.5. Druksterkte

Het druksterkteonderzoek is uitgevoerd volgens NEN-EN 12540-1, NEN-EN 12390-3:2009 en NEN-EN 12390-7:2009. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel. Hieruit volgt een betondruksterkteklasse C55/67volgens NEN-EN 206. De sterkteklasse voldoet ruim aan de toegepaste mengselcode en de daarbij horende betonklasse van B25-35.

Tabel 6.4. Druksterkte referentiekernen

omschrijving	beton-klasse	monstercode	hoogte	diameter	massa	volumieke massa	gemeten druksterkte	werkelijke druksterkte[1]
			mm	mm	g	kg/m³	N/mm²	N/mm²
74-West-buitenwand-Midden	B35	9	96	95	1577	2340	64,8	64,8
9-West-buitenwand-hoog-maaiveld	B35	37	72	95	1186	2350	77,4	70,5
133-stempeltrapgat-zij	B25	50	89	95	1464	2330	72,3	69,4
					Min	2330	64,8	64,8
					Max	2350	77,4	70,5
					Gem	2340	71,5	68,2

6.1.6. ASR en samenstelling

In de onderstaande tabel zijn de resultaten van het petrografisch onderzoek gegeven. In alle slijplaagjes is scheurvorming aangetroffen. Er is nergens ASRgel geconstateerd dat op een alkali-silica reactie duidt. Wel zijn er in 2 slijplaagjes ASR gevoelige korrels ontdekt. In alle slijplaagjes is hoogovenslak aangetroffen.

---

[1] *Bepaald op basis van hoogte-diameterverhouding conform CUR-aanbeveling 74.*

Tabel 6.5. ASR resultaten referentiekernen

omschrijving	monster code	ASR, DEF of sulfaataantasting	scheurvorming
74-West-buitenwand-Midden	9	niet aangetroffen	fijne verticale scheur
9-West-buitenwand-hoog-maaiveld	37	niet aangetroffen	verticale scheur
133-stempeltrapgat-zij	50	niet aangetroffen, wel ASR gevoelige korrels, chertkorrels met calcedoon	fijne, verticale scheurvorming
104-stempel-boven	14	niet aangetroffen	haaks op het oppervlak
129-onderzijde-dek	26	niet aangetroffen, wel ASR gevoelige korrels, chertkorrels met calcedoon	haaks op het oppervlak

6.1.7. Chloridegehaltes

De chloridegehaltes van de boorkernen zijn in het laboratorium bepaald en per laag uiteengezet voor een aantal relevante kernen in onderstaande tabel. Hieruit blijkt dat deze waarden slechts licht verhoogd zijn.

Tabel 6.6. Chloridegehaltes boorkernen

omschrijving	monster-code	diepte	cementgehalte	chloridegehalte	chloridegehalte
		mm	% m/m beton	% m/m cement	% m/m beton
74-West-buitenwand-Midden	9	0-10	14	0	0
		10-20	15,8	0,1	0,01
		20-30	16,7	0	0,01
		30-40	13,5	0,1	0,01
9-West-buitenwand-hoog-maaiveld	37	0-10	15,8	0	0
		10-20	17,5	0,1	0,01
		20-30	17,5	0	0,01
		30-40	9,8	0	0
133-stempeltrapgat-zij	50	0-10	13	0,1	0,01
		10-20	14,4	0,2	0,03
		20-30	17	0,1	0,02
		30-40	15,9	0,1	0,02
104-stempel-boven	14	0-10	14	0,1	0,01
		10-20	16	0,1	0,01
		20-30	16	0	0,01
		30-40	15	0,1	0,01
129-onderzijde-dek	26	0-10	12	0,1	0,02
		10-20	13	0,2	0,02
		20-30	12	0,2	0,02
		30-40	15	0,2	0,02
109-stempeltrapgat-zij	41	0-10	9	0,1	0,01
		10-20	11	0,3	0,03
		20-30	12	0,2	0,02
		30-40	13	0,2	0,02

6.1.8. Verwachting restlevensduur

Bij het bepalen van de verwachte restlevensduur is het van belang om te weten wanneer de integriteit van de constructie in het geding komt. In dit geval is het met name belangrijk om te weten wanneer de wapening aangetast wordt. Met de gegeven dekkingsverliezen van de vorst-dooi proeven en de dekkingsmetingen kan geëxtrapoleerd worden na hoeveel jaar de wapening zichtbaar vrij komt te liggen. Dit is een conservatieve verwachting aangezien de wapening al eerder gaat roesten omdat carbonatatiefront, chloride, water en zuurstof de wapening bereikt hebben.

In de onderstaande tabel staat in de laatste kolom de verwachting in jaren wanneer de wapening bloot komt te liggen. Hierbij is uitgegaan van 30 vorst-dooi cycli per jaar waarbij het beton vochtig is.

Met de resultaten van de 56 dagen vorst-dooi proef is het verwachte betonverlies per jaar uitgerekend. Aan de hand van de gemeten betondekking is berekend wanneer de wapening bloot komt te liggen.

Tabel 6.7. Aantal jaren wanneer dekking bloot komt te liggen

		30 cycli		Dekking [mm]	# jaren tot
omschrijving	code	kg per jaar	mm per jaar	kernmeting	wapening
17-Onderzijde-dek	1	3,17	1,32	60	45
17-West-buitenwand-midden	2	2,52	1,05	55	52
26-Onderzijde-dek	3	0,00	0,00	60	
26-West-buitenwand-midden	4	5,33	2,22	60	27
50-Onderzijde-dek	5	5,60	2,33	60	26
50-West-buitenwand-midden	6	6,94	2,89	50	17
74-Onderzijde-dek	7	0,01	0,00	60	
96-Onderzijde-dek	10	0,03	0,01	65	
96-West-buitenwand-Midden	11	1,06	0,44	60	136
104-West-buitenwand-midden	12	9,61	4,00	90	22
104-stempel-boven	13	3,65	1,52	50	33
109-stempelmidden-boven	15	1,64	0,68	50	73
109-stempelmidden-zij	16	2,97	1,24	55	44
109-stempelmidden-zij	17	1,80	0,75	65	87
109-stempelmidden-onder	18	3,27	1,36	60	44
115-stempel-boven	19	3,86	1,61	45	28
117-stempel-boven	20	4,85	2,02	70	35
122-stempelmidden-boven	21	3,39	1,41	90	64
122-stempelmidden-zij	22	5,65	2,35	50	21
122-stempelmidden-zij	23	5,63	2,34	50	21
122-stempelmidden-onder	24	2,54	1,06	75	71
129-onderzijde-dek	25	2,61	1,09	60	55
133-stempelmidden-boven	27	3,55	1,48	90	61
133-stempelmidden-zij	28	9,44	3,93	60	15
133-stempelmidden-zij	29	9,00	3,75	90	24
133-stempelmidden-onder	30	4,94	2,06	65	32
136-stempel-boven	31	0,46	0,19	65	339
141-stempelmidden-boven	32	0,53	0,22	90	411
141-stempelmidden-zij	33	1,70	0,71	70	99

omschrijving	code	30 cycli kg per jaar	 mm per jaar	Dekking [mm] kernmeting	# jaren tot wapening
141-stempelmidden-zij	34	1,58	0,66	70	107
141-stempelmidden-onder	35	2,46	1,03	60	58
9-West-buitenwand-hoog-maaiveld	36	5,68	2,37	50	21
15-West-buitenwand-hoog-maaiveld	38	2,10	0,88	60	69
109-stempeltrapgat-boven	39	0,75	0,31	57	182
109-stempeltrapgat-zij	40	4,35	1,81	56	31
109-stempeltrapgat-zij	41	3,85	1,60	60	37
109-stempeltrapgat-onder	42	5,09	2,12	45	21
109-stempeltrapgat-boven-extra	43	0,61	0,25	57	224
122-stempeltrapgat-boven	44	2,60	1,08	65	60
122-stempeltrapgat-zij	45	3,00	1,25	62	50
122-stempeltrapgat-zij	46	5,76	2,40	51	21
122-stempeltrapgat-onder	47	3,76	1,57	51	33
133-stempeltrapgat-boven	48	2,59	1,08	60	56
133-stempeltrapgat-zij	49	5,15	2,15	60	28
133-stempeltrapgat-onder	51	4,52	1,88	50	27
151-west-buitenwand-maaiveld	56	1,48	0,62	60	97
156-west-buitenwand-maaiveld	57	1,68	0,70	80	114
Gemiddeld		**3,46**	**1,44**	**62,27**	**70,87**
Gemiddeld open deel		**3,63**	**1,51**	**63,05**	**74,07**
Gemiddeld gesloten deel		**3**	**1**	**59**	**51**

open deel
gesloten deel

Wanneer de resultaten buiten beschouwing worden weggelaten waar (bijna) geen betonverlies heeft opgetreden (3 outliers), is de gemiddelde verwachting dat de wapening na circa 70 jaar al komt bloot te liggen. Er zijn 9 kernen in het open deel die de technische levensduur van 100 jaar (langer dan 85 jaar vanaf nu) kunnen bereiken op basis van de vorst-dooi metingen. Er zijn 20 proefstukken waarbij de verwachting is dat de wapening na 20 tot 40 jaar (vanaf nu/2015) bloot komt te liggen. Hier zal zeker de technische levensduur van 100 jaar niet behaald worden omdat het corrosieproces zonder ingrijpen genoeg wapeningstaal oppervlakte heeft weg gecorrodeerd dat de constructie zal bezwijken.

6.1.9. Conclusie

Uit de verrichte onderzoeken kan geconcludeerd worden dat met name de vorst-dooi schade en carbonatatiediepte negatieve resultaten vertonen. Dit komt overeen met de conclusie van het eerder verrichte onderzoek (130030-rap-u-0008, Duurzaamheidstudie van de stempels en gordingen van TRN) waarin geconcludeerd werd dat het beton erg poreus is. Tevens is onvoldoende bekend welke omstandigheden ten tijde van de uitvoering aanwezig waren en welke nabehandelingsmiddelen mogelijk zijn toegepast, zoals:
- bekistingoliën;
- nabehandelingsmiddelen (curings);
- biologisch afbreekbare middelen (voedingsbodem voor mos).

Het poreuze beton zorgt ervoor dat deze vatbaarder is voor vorst-dooi schade, water dringt makkelijker beton in, hoeveelheid water is groter in het beton en door uitzetten bij bevriezing drukt het ook makkelijker af. Door de hoge porositeit is het voor CO_2 ook makkelijker het beton binnen te dringen en zal het carbonatatiefront eerder de wapening bereiken.

Voorts zijn er locaties aan te merken waarbij het beton poreus en van mindere kwaliteit is, maar door beperkt aantal vorst-dooi cycli is dit minder belangrijk voor degradatie en levensduur.

Aan de hand van de vorst-dooibeproevingen, verwachtte aantal vorst-dooi cycli per jaar en huidige dekking is de verwachting dat de technische levensduur van 100, jaar voor de constructieonderdelen die onderhevig zijn aan weersinvloeden, niet gehaald zal worden. Voor de onderdelen in het open deel is de verwachting dat van een aantal onderdelen de wapening na 20 tot 40 (vanaf nu/2015) jaar al bloot zal liggen.

Er zijn verder geen duidelijke relaties te leggen tussen de onderzoeksresultaten en de toegepaste betonmengsels, tijdstip van uitvoering of het open en gesloten deel.

7. KOSTEN-BATENRAMING EN ADVIES

7.1. Inleiding

Om te komen tot een advies met betrekking tot de beheers- en monitoringsmaatregelen zijn de kosten ingeschat naar de verschillende onderdelen; stempel, wand bak, plafond en wand tunnel. Naast de kosten zijn ook de baten van de verschillende maatregelen kwalitatief bepaald. Hieruit volgt een prioritering wat uiteindelijk tot de meest gewenste mix aan maatregelen zal leiden.

7.2. Kosten-batenraming

De kosten per maatregel per onderdeel zijn geschat op basis van de volgende aspecten:
- oppervlakte onderdeel;
- bereikbaarheid onderdeel;
- voorbereidende werkzaamheden;
- materiaalkosten;
- materieelkosten;
- personeelskosten.

In bijlage IV zijn de verschillende maatregelen gegeven met daarbij oppervlakte per onderdeel en eenheidsprijs, om uiteindelijk te komen tot de indicatieve kosten. Bij de uiteindelijke kosten is rekening gehouden met buitendienststellingen, inefficiënt werken door beperkingen en hogere personeelskosten (weekend en nachtwerk). De impact op de beschikbaarheid van het spoor zijn meegenomen in de baten. Naast de verwachtte kosten zijn de volgende baten gekwalificeerd:
- effectiviteit; uitgedrukt in jaren levensduur;
- beschikbaarheid; uitgedrukt in mogelijkheid nacht- en weekendafsluitingen;
- onderhoudbaarheid; uitgedrukt in onderhoudscyclus en -kosten;
- esthetiek; uitgedrukt in mate van verandering huidige toestand.

In bijlage V zijn de scoringstabellen weergegeven voor de verscheidene aspecten.

7.3. Advies

In bijlage IV is per onderdeel de prioritering aangegeven van de beheersmaatregelen. Deze beoordeling heeft geleid tot een voorstel voor de toe te passen beheersmaatregel(en).

7.3.1. Voorstel beheersmaatregel

Het voorstel is om in ieder geval een CO_2 dichte coating aan te brengen op de stempels. Het is daarnaast wenselijk dit ook te doen bij de wanden van het open deel en de wanden en dak van de ingangen van het gesloten deel.

Uit bijlage IV volgt namelijk dat de CO_2 dichte coating voor de stempels de beste beheersmaatregel is. Naast het tegenhouden van het binnendringen van CO_2 in het beton zorgt het er ook voor dat chloride, lucht en water het beton niet kunnen binnendringen. Doordat water het beton moeilijk kan binnendringen is de kans op bevriezing van water in het beton geringer. Aangezien de belangrijkste oorzaken vorst-dooischade in combinatie met carbonatatie zijn, zal al eerste die onderdelen aangepakt moeten worden die onderhevig zijn aan regen.

Dit betreft dus naast de stempels ook de wanden van het open deel en de toeritten van de tunnel (drukgolf trein zorgt voor nat worden wanden en dak bij binnenrijden tunnel).

Voor de andere onderdelen wordt geadviseerd niet direct een beheersmaatregel uit te voeren, omdat hier vorst-dooi schade niet zal optreden vanwege het niet nat worden van het beton. Hier zou nog wel carbonatatie in de toekomst een probleem kunnen vormen, aangezien er 4 van de 9 gemeten onderdelen in het gesloten deel het carbonatatiefront de wapening binnen 60 jaar heeft bereikt. Door deze onderdelen te monitoren zal in een later stadium wellicht blijken dat hier een beheersmaatregel moet worden ingezet om de technische levensduur van 100 jaar te behalen. Men kan hierbij in de toekomst denken aan een kathodische bescherming bij de plekken waar het front de wapening heeft bereikt.

7.3.2. Voorstel monitoringsmaatregel

Om de schademechanismen te monitoren worden de volgende monitoringsmaatregelen (NDO-techniek) voorgesteld per onderdeel, inclusief periodiciteit:

- meting carbonatatiediepte - gesloten deel - elke 2 jaar:
  - om de progressie van het carbonatatiefront in het gesloten deel te monitoren, wordt er geadviseerd om regelmatig een carbonatatiemeting te verrichten. Zo kan bepaald worden of en wanneer er een beheersmaatregel (kathodische bescherming moet worden toegepast. Opeenvolgende metingen verrichten op steeds hetzelfde deel van het beton om vergelijking te hebben;
- visuele inspectie, afkloppen - gesloten deel - elke 2 jaar:
  - om te monitoren of de buitenste laag sprake is van scholvorming in het gesloten deel, wordt er geadviseerd om regelmatig de tunnel visueel te inspecteren en waar nodig af te kloppen;
- potentiaalmeting - gesloten deel - eenmalig bij roesten wapening:
  - wanneer uit de meting van de carbonatatiediepte dat de wapening is bereikt, kan men een potentiaalmeting verrichten om een beeld te krijgen van de mate van corrosie van de wapening;
- visuele inspectie - open deel - elke 2 jaar:
  - na het behandelen van de stempels en de randen met een CO2 dichte coating wordt er geadviseerd de onderdelen visueel te inspecteren om te controleren of de coating nog steeds intact is en er geen sprake is van afdrukking.

Als er weinig of geen verval is na een aantal inspecties om de 2 jaar zou besloten kunnen worden om het tijdsinterval aan te passen.

7.3.3. Voorstel nader onderzoek

Het is zinvol om de chemische samenstelling van het beton te laten onderzoeken en te relateren aan het toegepaste betonmengsel, waar mogelijk in combinatie met toegepaste hulpstoffen en nabehandelingmiddelen. Dit om een duidelijker beeld te krijgen van de oorzaak van de porositeit.

Voorgesteld wordt om voor de gehele constructie een Life Cycle Costs (LCC) analyse uit te voeren. Door een LCC analyse uit te voeren kunnen de kosten en besparingen voor de gehele constructie over de volledige levensduur in beeld gebracht worden. Daarmee kan tot een optimale combinatie van bestaand en nieuw werk worden gekomen op basis van zowel bouw als onderhoudskosten.

De voordelen volgend uit een LCC kunnen onder andere zijn:
- grote besparing op sloop- en investeringskosten;
- behoud van waarde van de bestaande constructie;
- snellere uitvoeringstijd;
- hoge PR-waarde;
- lagere milieubelasting.

8. UITGEVOERD NADER ONDERZOEK

8.1. Inleiding

Op verzoek van ProRail is door Railinfra Solutions, na bekend worden van de resultaten van het oorspronkelijke onderzoek (zie hoofdstukken 1 tot en met 7 hierboven), nader laboratorium onderzoek verricht op de geboorde betonkernen om te achterhalen wat de mogelijke reden is voor de slechte bestandheid tegen vorstdooi wisselingen (zie 8.2-A t/m C).

Door ProRail is tevens gevraagd wat een reden kan zijn van de geconstateerde overvloedige mos aangroei op het beton en in hoeverre dit een nadelige invloed kan hebben op de levensduur van het beton (zie 8.2-D).

8.2. Bevindingen

Nader laboratorium onderzoek is verricht op:
- luchtbellen (wenselijke afmeting en verdeling);
- bleeding (problemen bij het storten wat kan leiden tot te hoge porositeit);
- waterabsorptie (te hoge waterabsorptie kan leiden tot verhoogde gevoeligheid voor vorst/dooi schade);

A. Luchtbellen

Hoewel er op dit specifieke (beton technologische) vlak nog de nodige discussie bestaat, zijn de meeste onderzoekers het er over eens dat voor een goede vorstbescherming van het (uitgeharde) beton er een luchtgehalte van circa 6 % van het mortelvolume benodigd is.

N.b. Daar de hoeveelheid mortel in het beton toeneemt naarmate de maximum diameter van de granulaten afneemt zal de benodigde hoeveelheid lucht voor een beton met D_{max} van 8 mm meer bedragen dan voor een beton met D_{max} 32 mm.

Voor een goede vorstdooi bestandheid moeten de luchtbellen klein zijn, bij voorkeur 0,1 – 0,5 mm met een soortelijke oppervlakte van 25 tot 50 mm^2/mm^3.

Ook de afstandsfactor (verhoudingsgetal waarbij cementgehalte en onderlinge afstand van de luchtbellen als parameters dienen) speelt hierbij een belangrijke rol. Een waarde kleiner dan 0,2 mm wordt doorgaans als voldoende beschouwd.

Resultaten onderzoek (zie ook bijlage VII):
Voor dit onderzoek zijn 3 monsters onderzocht:
- de afmetingen van de luchtbellen bedragen gemiddeld 0,6 mm, dit is iets groter dan de gewenste maximale afmeting van 0,5 mm;
- het gemiddelde soortelijke oppervlak van de luchtbellen bedraagt 10,2 mm^2/mm^3, dit is beduidend minder dan de gewenste hoeveelheid van 25 tot 50 mm2/mm3;
- de afstandsfactor bedraagt gemiddeld 1 mm, dit is een factor 5 keer groter dan de gewenste waarde van 0,2 mm;

Conclusie: Gelet op het soortelijk oppervlak en de verdeling van de luchtbellen in het beton kan worden gesteld dat het beton niet voldoende weerstand biedt tegen vorstdooi wisselingen.

B. Bleeding

Daar is geconstateerd dat vooral op de bovenzijde van stempels en wanden er sprake is van zichtbare vorstdooi schade, is onderzocht of er sprake is van verminderde betonkwaliteit als gevolg van ‘bleeding’.

Bleeding’ is een mechanisme dat op kan treden tijdens het storten van beton waarbij niet gebonden water uit de betonmortel naar boven wordt gedrukt.

Na uitharding van het beton ontstaat hierdoor in de bovenzijde van het constructieonderdeel een poreus beton dat gemakkelijk (regen)water vasthoudt. Beton met een hoge waterverzadigingsgraad vertoont grotere schade als gevolg van vorstdooi wisselingen

Conclusie:
Op geen van de onderzochte monsters is sprake geweest van ernstige mate van bleeding.

C. Waterabsorptie

Van 2 onderzochte monsters was het mogelijk om een representatieve waarde te bepalen voor de waterabsorptie. Conform de richtlijnen mag de waterabsorptie maximaal 5 % bedragen. De onderzochte monsters vertonen een waarde van 5 % en 5,6 %.

Conclusie: De monsters voldoen nagenoeg aan de gestelde eisen.

D. Mosbegroeiing

Hoewel in de volksmond 'mosbegroeiing' genoemd, is deze vorm van begroeiing in feite te onderscheiden in begroeiing door algen, mossen en korstmossen. Algen en mossen zijn planten (doorgaans eenvoudige 1-cellige organismen) terwijl korstmossen samenlevingsvormen tussen algen en schimmels zijn (symbiose).

In principe zijn algen, mossen en korstmossen geen probleem voor het beton. Echter bij veel soorten korstmossen is sprake van een zuurafscheiding van de schimmels, deze zuren zullen beton enigszins aangetasten. Afhankelijk van de ontwerplevensduur van het beton zal het oppervlak van het beton circa 1 á 3 mm oplossen.
N.b. Er is geen onderzoek gedaan naar de voorkomende begroeiing op het beton.

Het watervasthoudende vermogen van mossen moet ook niet worden onderschat. Als mossen eenmaal zijn geworteld, kan dit ervoor zorgen dat de poriën van beton goed gevuld blijven met water. Dit heeft een nadelige invloed voor de bestandheid van beton tegen vorstdooi wisselingen.

Mosbegroeiing kent ook een voordeel: daar waar overvloedige mosbegroeiing aanwezig is zal sprake zijn van een beperkte carbonatatie indringing.

8.3. Conclusie en aanbevelingen

Het nader onderzoek heeft aangetoond dat het soortelijk oppervlak van de luchtbellen te klein is en de afstandsfactor van deze luchtbellen te groot. Hierdoor is het beton niet voldoende vorstbestand, afhankelijk van de waterverzadigingsgraad van het beton kan dit leiden tot (ernstige) aantasting van het beton.

De oorzaak van het niet aanwezig zijn van het gewenste minimale soortelijk oppervlak aan luchtbellen en de juiste afstandsfactor kan gelegen zijn in het feit dat er (te veel) vliegas aan het betonmengsel is toegevoegd. Het toepassen van vliegas in beton kent vele voordelen voor het eindproduct (onder andere een dichte structuur) maar zorgt er ook voor dat de 'natuurlijke' beluchting van het mengsel te kort schiet. Het toepassen van een luchtbelvormer had dit kunnen voorkomen.

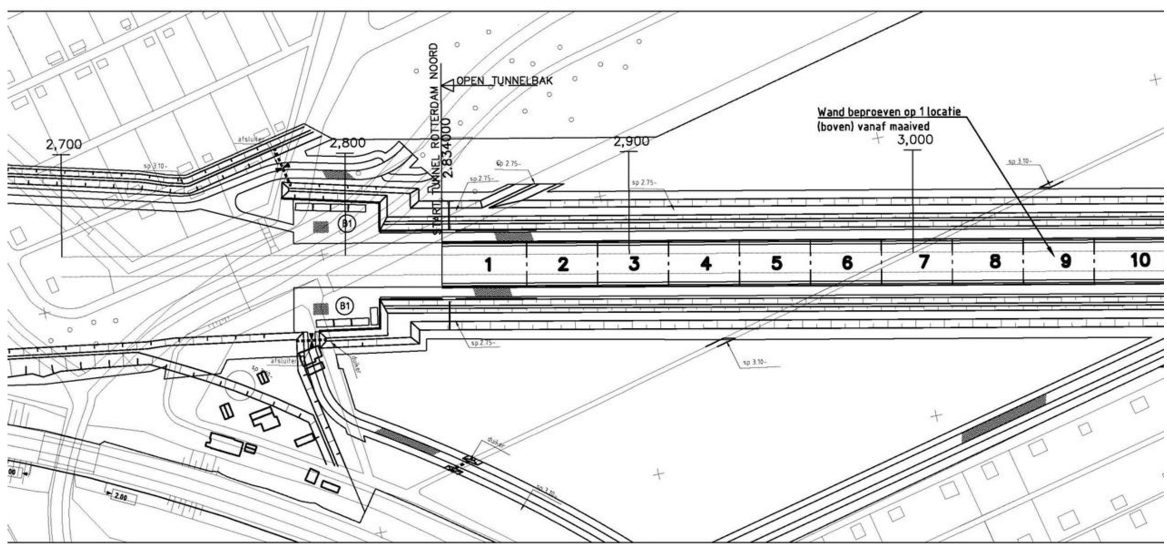
Uit eerdere proeven is gebleken dat een groot deel van de monsters niet vorstbestendig bleek. Het feit dat het 'schadebeeld' in de praktijk zich voornamelijk op de bovenzijde van stempels, gordingen en wanden voordoet is gelegen in het feit dat op die zijden er sprake kan/zal zijn van een te hoge waterverzadigingsgraad op het moment van optreden van de vorstdooi wisselingen.

Ondanks het feit dat er sprake zal zijn van een gering afschot op de (boven)zijden van stempels, wanden en gordingen zal het beton op deze locaties toch langduriger met water in contact blijven. Aanwezige mossen versterken dit effect door hun 'watervasthoudend vermogen'. De kans op een hoge waterverzadigingsgraad neemt hierdoor aanmerkelijk toe.

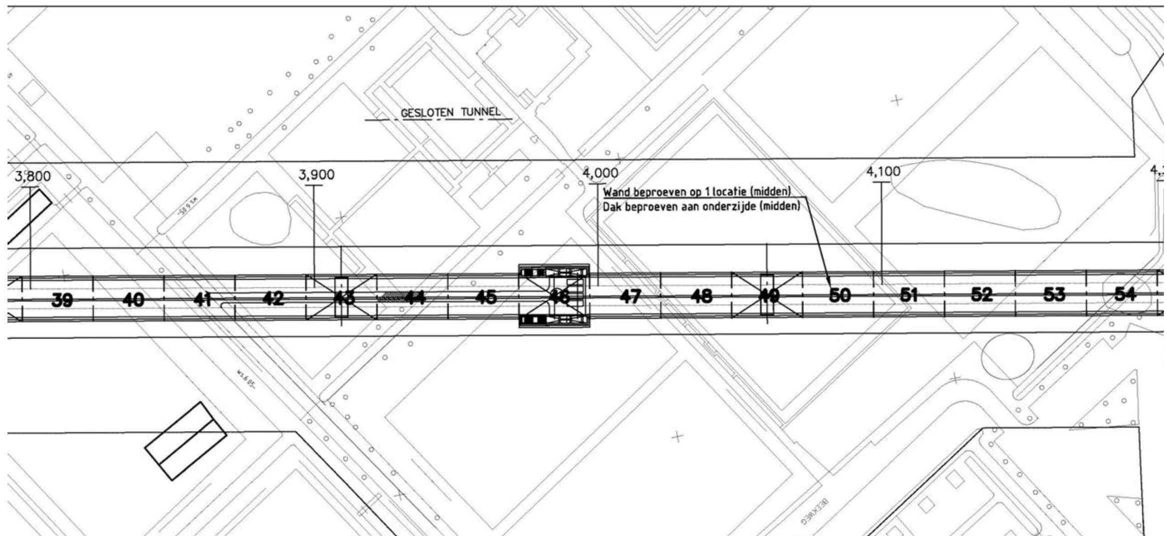
Het is een gegeven dat beton met een waterverzadigingsgraad groter dan 80 % (daar zal in veel gevallen sprake van zijn), in combinatie met een onjuiste luchtverdeling, beperkt weerstand biedt tegen vorstdooi wisselingen.

De reden dat er (vooralsnog) nauwelijks schade door vorstdooi wisselingen bij de verticale zijden van wanden, gordingen en stempels is waargenomen, moet worden gezocht in het feit dat de waterverzadiging van het beton op deze zijden tot op heden voldoende laag is geweest.

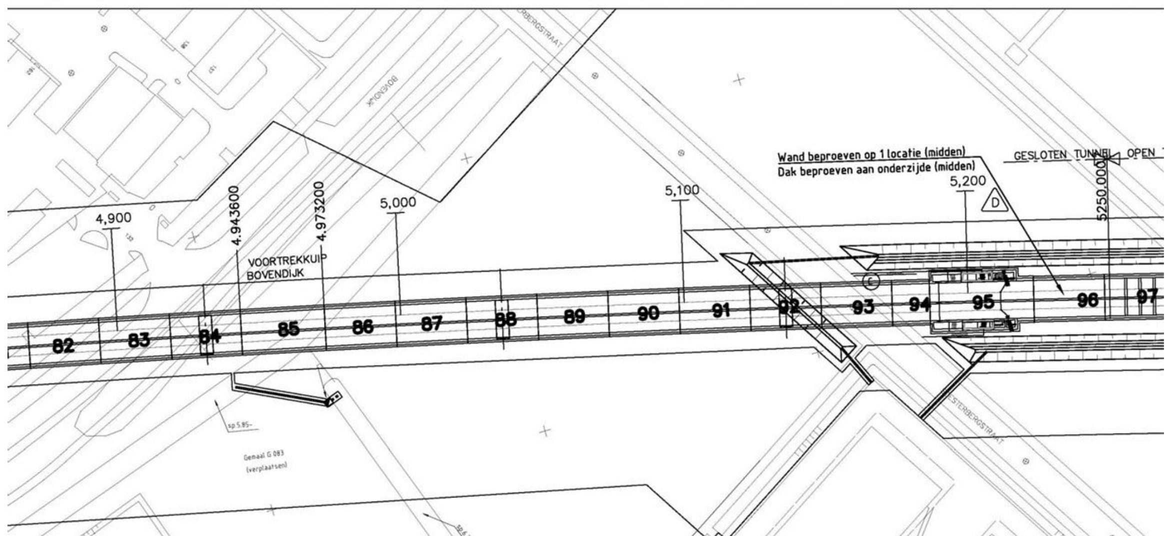
BIJLAGE I INSPECTIETEKENING



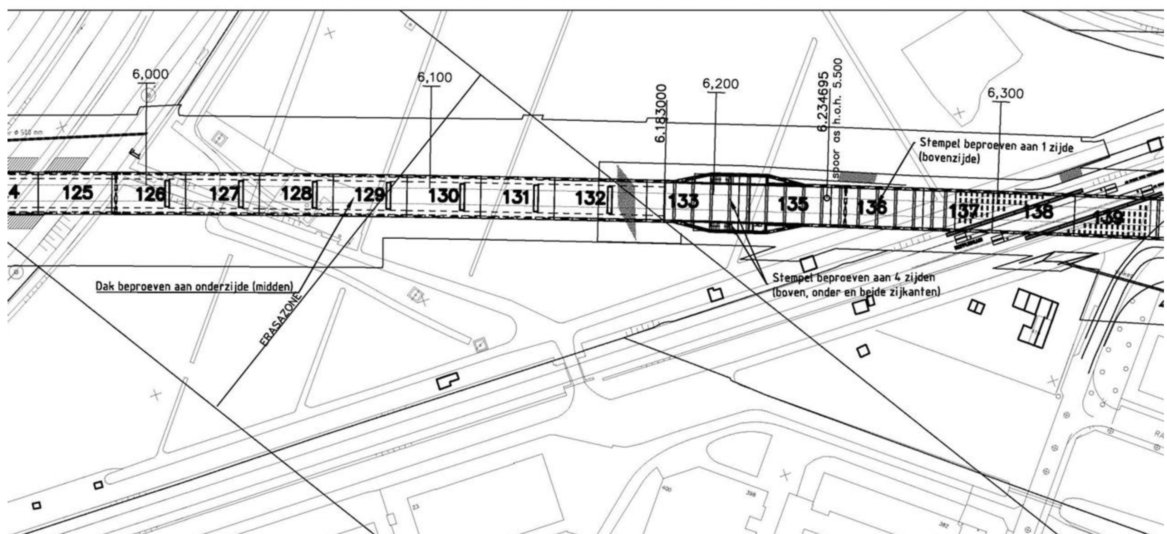
OPEN TUNNELBAK
START TUNNEL ROTTERDAM NOORD
2.834000
2,700
2,800
2,900
3,000
Wand beproeven op 1 locatie
(boven) vanaf maaived
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10



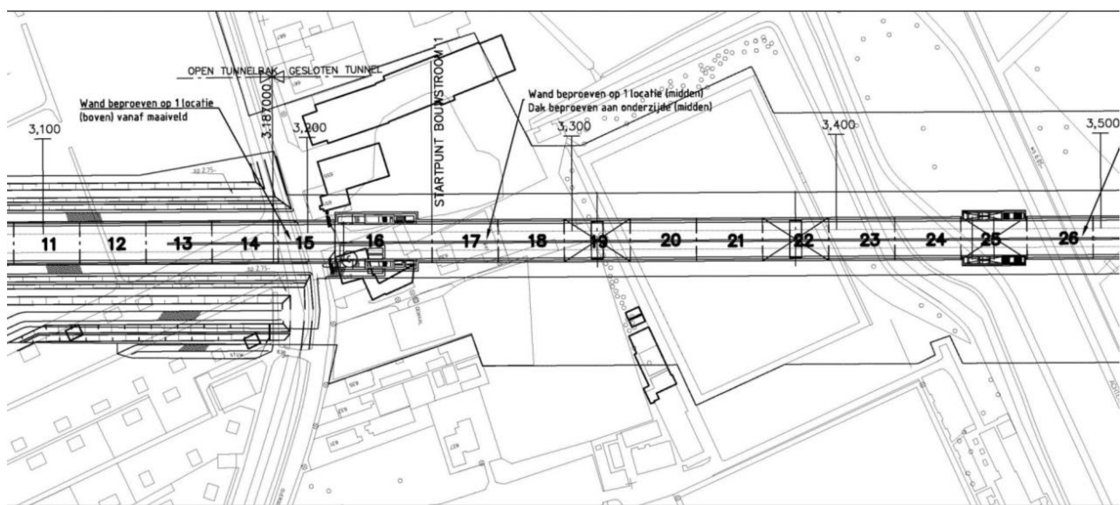
GESLOTEN TUNNEL
3,800
3,900
4,000
4,100
Wand beproeven op 1 locatie (midden)
Dak beproeven aan onderzijde (midden)
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54

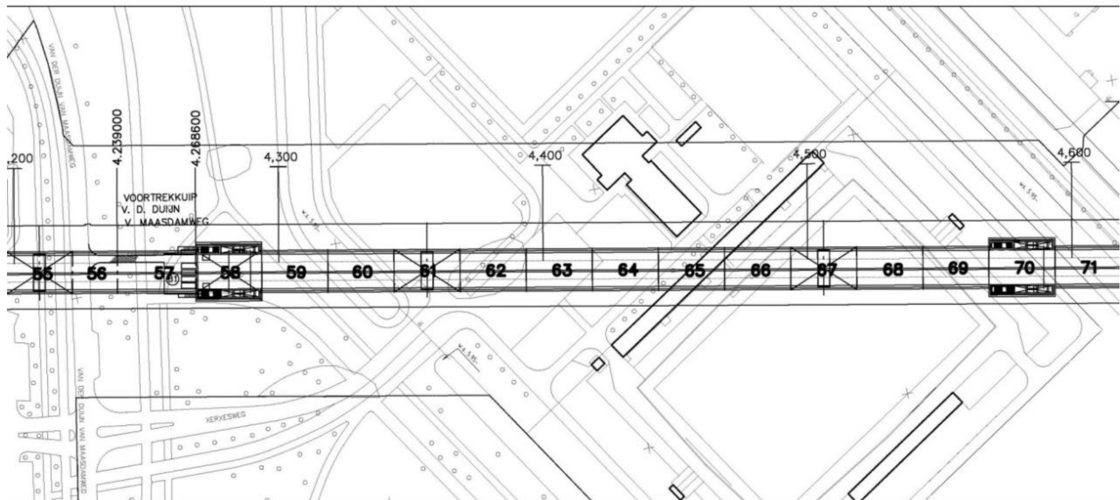


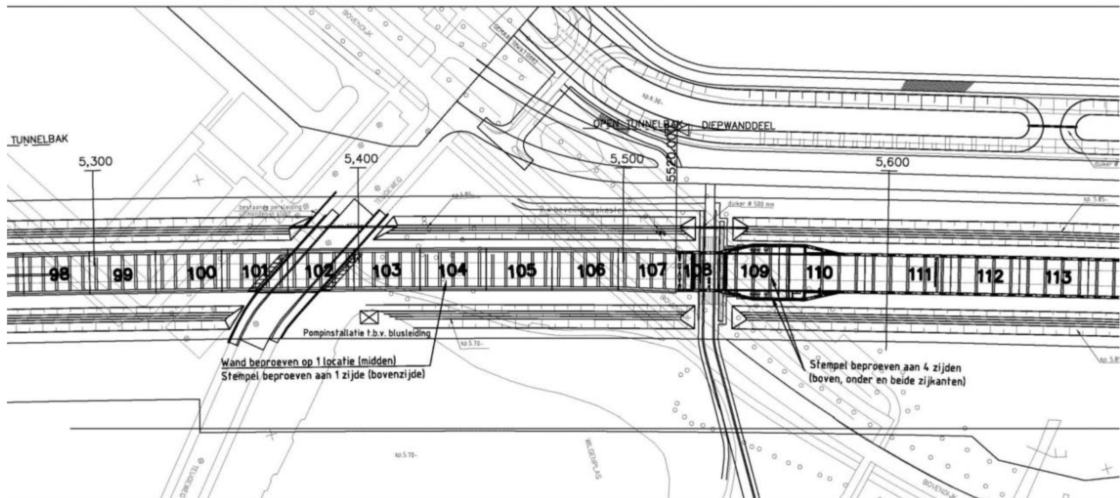
Wand beproeven op 1 locatie (midden)
Dak beproeven aan onderzijde (midden)
GESLOTEN TUNNEL
4,900
4.943600
4.973200
5,000
5,100
5,200
5250.000
VOORTREKKUIP
BOVENDIJK
Gemaal G 083
(verplaatsen)
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97

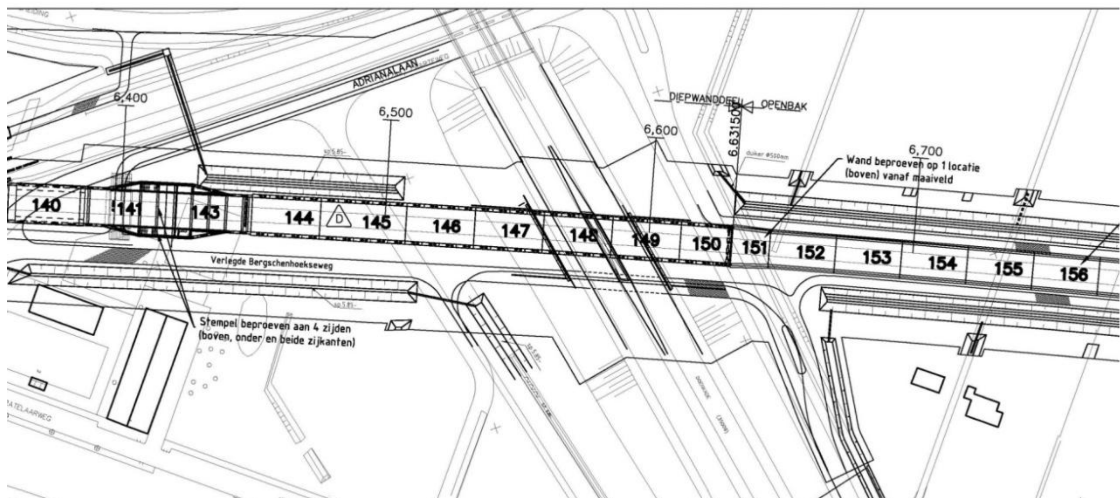


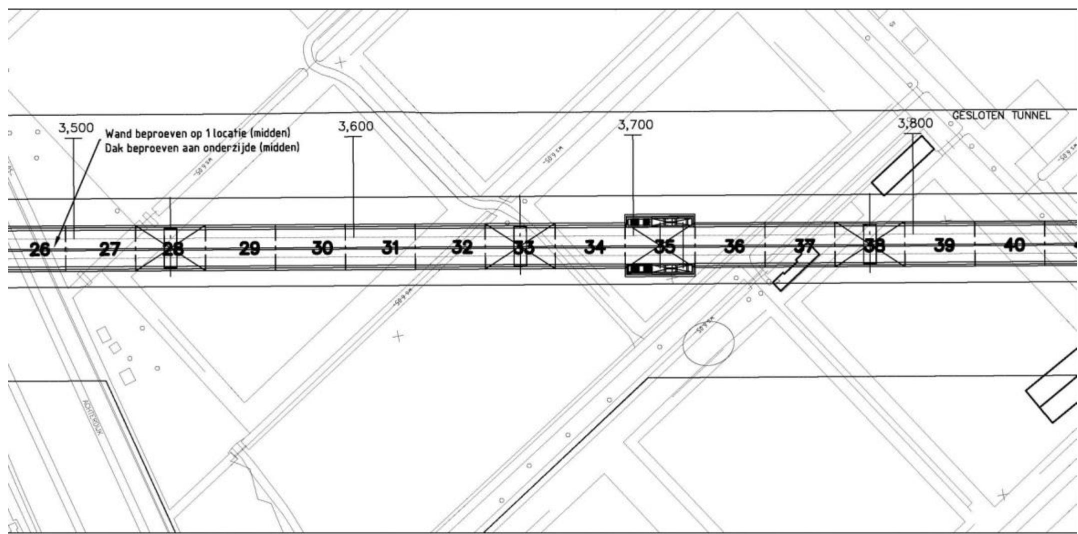
6,000
6,100
6.183000
6,200
6.234695
spoor as h.o.h. 5.500
6,300
Stempel beproeven aan 1 zijde
(bovenzijde)
125
126
127
128
129
130
131
132
133
135
136
137
138
139
Dak beproeven aan onderzijde (midden)
Stempel beproeven aan 4 zijden
(boven, onder en beide zijkanten)

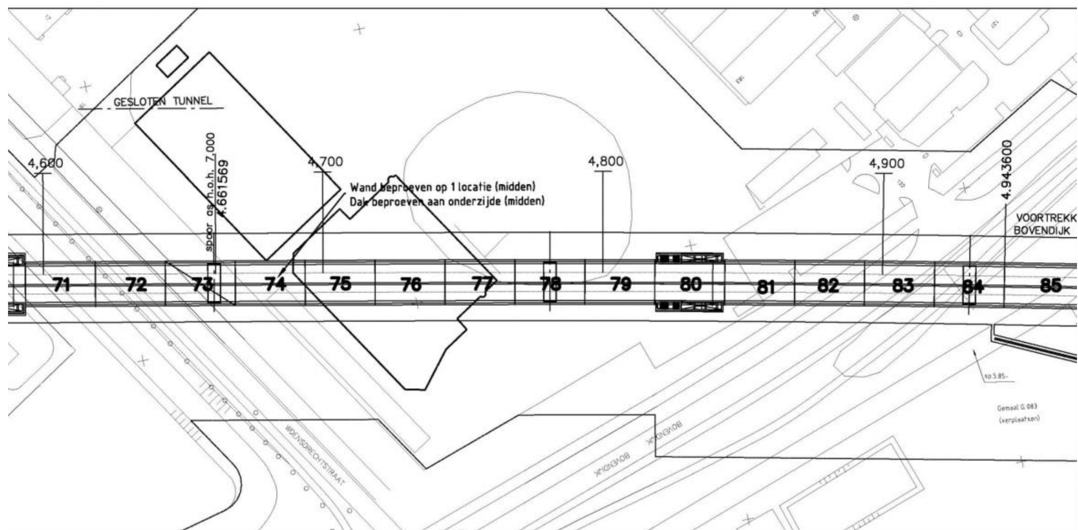

OPEN TUNNELBAK
GESLOTEN TUNNEL
Wand beproeven op 1 locatie (boven) vanaf maaiveld
3,100
3,187000
3,200
STARTPUNT BOUWSTROOM 1
Wand beproeven op 1 locatie (midden)
Dak beproeven aan onderzijde (midden)
3,300
3,400
3,500
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26

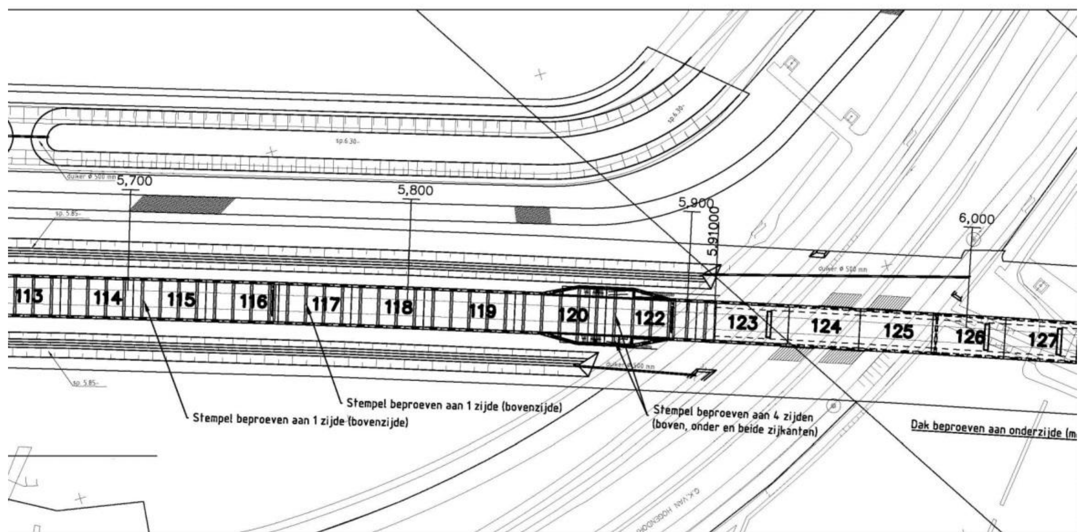

4,239000
4,268600
4,300
4,400
4,500
4,600
VOORTREKKUIP
V. D. DUIJN
V. MAASDAMWEG
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
XERXESWEG

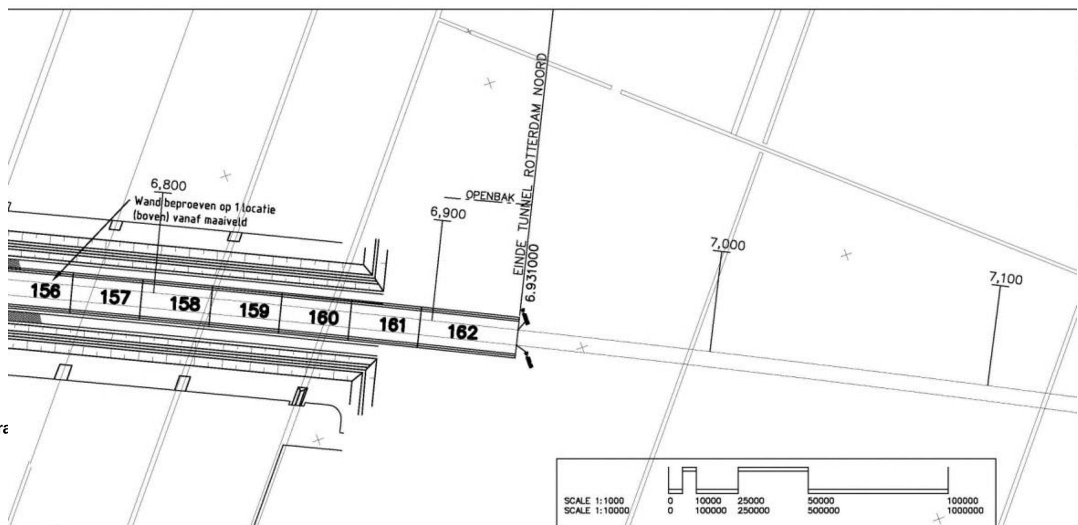

TUNNELBAK
5,300
5,400
5,500
5,600
OPEN TUNNELBAK
DIEPWANDDEEL
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
Pompinstallatie t.b.v. blusleiding
Wand beproeven op 1 locatie (midden)
Stempel beproeven aan 1 zijde (bovenzijde)
Stempel beproeven aan 4 zijden (boven, onder en beide zijkanten)


ADRIANALAAN
6,400
6,500
6,600
6,631500
6,700
DIEPWANDDEEL
OPENBAK
Wand beproeven op 1 locatie (boven) vanaf maaiveld
140
141
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
Verlegde Bergschenhoekseweg
Stempel beproeven aan 4 zijden (boven, onder en beide zijkanten)


3,500
Wand beproeven op 1 locatie (midden)
Dak beproeven aan onderzijde (midden)
3,600
3,700
3,800
GESLOTEN TUNNEL
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40


GESLOTEN TUNNEL
4,600
spoor as h.o.h. 7,000
4.661569
4,700
Wand beproeven op 1 locatie (midden)
Dak beproeven aan onderzijde (midden)
4,800
4,900
4.943600
VOORTREKK
BOVENDIJK
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85


5,700
5,800
5,900
5.91000
6,000
113
114
115
116
117
118
119
120
122
123
124
125
126
127
Stempel beproeven aan 1 zijde (bovenzijde)
Stempel beproeven aan 1 zijde (bovenzijde)
Stempel beproeven aan 4 zijden
(boven, onder en beide zijkanten)
Dak beproeven aan onderzijde (m


6,800
Wand beproeven op 1 locatie
(boven) vanaf maaiveld
OPENBAK
6,900
EINDE TUNNEL ROTTERDAM NOORD
6.931000
7,000
7,100
156
157
158
159
160
161
162
SCALE 1:1000
SCALE 1:10000
0
10000
25000
50000
100000
0
100000
250000
500000
1000000

BIJLAGE II INSPECTIERESULTATEN

B | A | S

RESEARCH & TECHNOLOGY

B|A|S
Olivier van Noortweg 10
5928 LX Venlo
The Netherlands
T +31 (0)77 850 72 22
F +31 (0)77 850 72 23
info@basrt.eu
www.basrt.eu
Venlo nr. 9298

B|A|S Rapport:	2015-0343-001
Onderwerp:	Onderzoek Tunnel HSL Fase 1
Datum rapport:	16 april 2015
Opdrachtgever:	Railinfra Solutions V.O.F
Adres opdrachtgever:	Leidseveer 4 3511 SB Utrecht Nederland

Projectnaam:	Onderzoek tunnels HSL
Projectnummer:	2015-0343
Datum onderzoek:	18 december 2014
Auteur:	ir. S. Leurs
Thema:	Beton
Trefwoorden:	Vorstdooi onderzoek, carbonatatie, chloridenprofiel, petrografisch onderzoek, druksterkte

Inhoudsopgave

1 Inleiding

In opdracht van Railinfra Solutions V.O.F. heeft B|A|S Research & Technology onderzoek uitgevoerd aan door de opdrachtgever aangeleverde betoncilinders.

Het betreft onderzoek voor het bepalen van de druksterkte, de vorstdooi bestandheid, carbonatatiediepte, chloridenprofiel en een petrografisch onderzoek naar schademechanismen als DEF, ASR en sulfaataantasting.

De resultaten van het onderzoek zijn in deze rapportage uiteengezet.

2 Monstermateriaal

De door de opdrachtlever aangeleverde cilinders zijn in onderstaande tabel weergegeven. Tevens is hier aangegeven welke onderzoeken op de cilinders zijn uitgevoerd.

Codering	Uitgevoerde onderzoeken
1	Vorstdooi onderzoek
2A	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
3	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
4	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
5	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
6	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
7	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
8	Visuele inspectie
9	Visuele inspectie, Druksterkte, Carbonatatiediepte, Chloridenprofiel, Petrografisch onderzoek
10	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
11	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
12	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
13	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
36	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
37	Visuele inspectie, Druksterkte, Carbonatatiediepte, Chloridenprofiel, Petrografisch onderzoek
38	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
39	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
40	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
41	Vorstdooi onderzoek
42	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
43	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
44	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
45	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
46	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
47	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
48	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
49	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
50	Visuele inspectie, Druksterkte, Carbonatatiediepte, Chloridenprofiel, Petrografisch onderzoek
51	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
56	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
57	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek

Tabel 1: Overzicht monsters

3 Laboratoriumonderzoek

3.1 Visuele inspectie

De cilinders zijn over het algemeen matig tot goed verdicht met een kleine tot gematigde hoeveelheid luchtbellen. De luchtbellen zijn klein tot matig groot van aard. Het toeslagmateriaal is in de regel rond, kwartsachtig en gaaf. In enkele cilinders is gebroken en amorf toeslagmateriaal aangetroffen. De D_{max} varieert per cilinder (16 en 32 mm). In de meeste cilinders zijn verontreiniging met flint aanwezig. Dit kan een ASR gevoelig toeslagmateriaal zijn. Nergens zijn waterlenzen of enige vorm van segregatie (ontmenging) aangetroffen.

De volledige visuele inspectie is opgenomen in bijlage 1.

3.2 Druksterkte

Het druksterkteonderzoek is uitgevoerd volgens NEN-EN 12540-1, NEN-EN 12390-3:2009 en NEN-EN 12390-7:2009. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

monstercode	hoogte	diameter	massa	volumieke massa	gemeten druksterkte	werkelijke druksterkte*
	mm	mm	g	kg/m³	N/mm²	N/mm²
9	96	95	1577	2340	64,8	64,8
37	72	95	1186	2350	77,4	70,5
50	89	95	1464	2330	72,3	69,4
			Min	2330	64,8	64,8
			Max	2350	77,4	70,5
			Gem	2340	71,5	68,2

** Bepaald op basis van hoogte-diameterverhouding conform CUR-aanbeveling 74.*

Tabel 2: Resultaten druksterkteonderzoek

De druksterkteklasse kan vervolgens worden bepaald aan de hand van approach B beschreven in NEN-EN 13791: 2007. Uit deze norm volgt de karakteristieke in-situ druksterkte uit de laagste waarde van:

$$f_{ck,is} = f_{m(n)is} - k$$
$$f_{ck,is} = f_{is,lowest} + 4$$

In deze formules staat $f_{ck,is}$ voor de karakteristieke in-situ sterkte, $f_{m(n),is}$ voor de gemiddelde gevonden in-situ sterkte, $f_{is,lowest}$ voor de laagste in-situ waarde en k voor een van het aantal geteste cilinders afhankelijke constante.

De waarde van k kan worden afgelezen uit onderstaande tabel.

Hoeveelheid proefstukken (n)	k
10 tot 14	5
7 tot 9	6
3 tot 6	7

Tabel 3: Factor k conform NEN-EN 13791

Voor dit onderzoek geldt hiermee dat de karakteristieke waarde de kleinste waarde is van:

$f_{ck,is} = 68{,}2 - 7 \quad = 61{,}2$ N/mm²

$f_{ck,is} = 64{,}8 + 4 \quad = 68{,}8$ N/mm²

Hieruit volgt een betondruksterkteklasse C55/67volgens NEN-EN 206.

3.3 Carbonatatiediepte

Carbonatatie is het proces waarbij het beton reageert met de koolstofdioxide uit de lucht. De snelheid waarmee het carbonatatiefront voortschrijdt is o.a. afhankelijk van de permeabiliteit van de deklaag. Wanneer het carbonatatiefront de wapening bereikt kan deze de zogenaamde passiveringslaag op de wapening aantasten. Er is nu nog geen sprake van corrosie. Echter indien water en zuurstof de wapening bereikt ontstaat er een vergrote kans op corrosie.

Carbonatatie zorgt voor een verlaging van de heersende pH. Door middel van een indicator voor de pH kan het carbonatatiefront zichtbaar worden gemaakt. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van Fenolfthaleine. Deze indicatorvloeistof blijft kleurloos bij een pH kleiner dan 8,2. De vloeistof kleurt paars bij een pH hoger dan 10.

De carbonatatiediepte is bepaald conform NEN-EN 14630.

De resultaten van het onderzoek zijn weergegeven in onderstaande tabel.

monstercode	gemiddeld [mm]	max [mm]
9	15	18
37	9	15
50	11	23

Tabel 4: Resultaten carbonatatieonderzoek

3.4 Chloridenprofiel

Het onderzoek naar het chloridengehalte is uitgevoerd conform BSW-rapport 96-01.
Van elk monster is per laag een minimale monstermassa van 10 gram gebruikt voor de natchemisch gecombineerde bepaling van cement- en chloridegehalte. Ter ontsluiting van het monstermateriaal is salpeterzuur toegepast. De chloridetitratie is uitgevoerd middels directpotentiometrie.

Het chloridengehalte wordt bepaald in massapercentage chloriden ten opzichte van cement. Het kritisch chloridengehalte, waarbij corrosie plaatsvindt, kan variëren. Dit is onder meer afhankelijk het milieu waarin zich de constructie bevindt (temperatuur en vochtigheid), maar ook bijvoorbeeld van de betonkwaliteit (type cement, permeabiliteit e.d.). In de richtlijn van Rijkswaterstaat (RL-CRCI V1.0 JoGu) wordt aangenomen dat er zeker geen corrosie optreedt bij een waarde kleiner dan 0,15% m/m cement en er zeker corrosie ontstaat als het chloridengehalte boven 0,90%m/m cement komt.

De resultaten van het onderzoek zijn weergegeven in onderstaande tabel.

monstercode	diepte [mm]	cementgehalte [% m/m beton]	chloridegehalte [% m/m cement]	chloridegehalte [% m/m beton]
9	0-10	14,0	0,0	0,00
	10-20	15,8	0,1	0,01
	20-30	16,7	0,0	0,01
	30-40	13,5	0,1	0,01
37	0-10	15,8	0,0	0,00
	10-20	17,5	0,1	0,01
	20-30	17,5	0,0	0,01
	30-40	9,8	0,0	0,00
50	0-10	13,0	0,1	0,01
	10-20	14,4	0,2	0,03
	20-30	17,0	0,1	0,02
	30-40	15,9	0,1	0,02

Tabel 5: Resultaten chloridenonderzoek.

3.5 Vorstdooi onderzoek

Het onderzoek is uitgevoerd conform NPR-CEN/TS 12390-9: 2006 EN. Voor dit onderzoek zijn de cilinders ingepakt in rubber en zijn de randen afgekit met een vorstbestendige kit. De proefstukken zijn vervolgens met een laagje demiwater erop in de vorstdooi kast geplaatst. Wekelijks zijn de schilfers afkomstig van het proefstuk verzameld en gewogen. De resultaten van het onderzoek zijn in onderstaande tabel weergegeven.

monster	testoppervlak	massaverlies per m²				
		7 dagen	14 dagen	28 dagen	42 dagen	56 dagen
code	[10^{-3} m²]	[kg/m²]	[kg/m²]	[kg/m²]	[kg/m²]	[kg/m²]
1	5,1	0,00	0,00	0,00	0,18	5,92
2A	5,3	0,02	0,08	0,30	3,58	4,70
3	4,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	5,1	0,62	1,94	5,38	7,58	9,94
5	5,3	0,04	0,06	2,30	5,32	10,46
6	5,3	1,64	2,76	5,42	8,64	12,96
7	5,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
10	4,9	0,00	0,00	0,00	0,04	0,06
11	5,2	0,06	0,74	1,54	1,80	1,98
12	4,9	0,32	4,28	9,82	12,80	17,94
13	4,7	0,28	1,16	2,20	2,78	6,82
36	4,6	0,86	2,70	5,58	7,94	10,60
38	4,6	0,06	0,86	2,56	3,24	3,92
39	5,3	0,20	0,30	0,62	0,90	1,40
40	5,0	0,40	2,90	4,12	6,60	8,12
41	4,7	0,92	2,52	4,64	5,58	7,18
42	4,6	0,04	0,66	3,60	7,10	9,50
43	5,2	0,18	0,32	0,44	0,62	1,14
44	4,8	0,22	0,28	0,54	2,64	4,86
45	3,9	0,16	0,24	2,18	4,08	5,60
46	4,7	0,00	1,02	2,16	4,66	10,76
47	5,4	0,02	1,04	6,34	6,94	7,02
48	4,0	0,18	0,36	0,54	2,80	4,84
49	3,6	0,02	2,68	6,10	7,04	9,62
51	5,0	0,08	0,16	3,48	6,38	8,44
56	4,4	0,08	0,70	1,58	2,12	2,76
57	5,0	0,50	0,80	1,70	2,02	3,14
gemiddeld		0,26	1,06	2,70	2,84	5,14
maximum		1,64	4,28	9,82	7,58	9,94

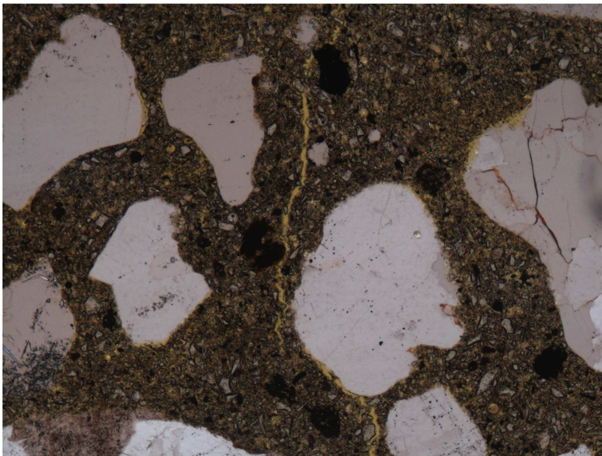
Tabel 6: Resultaten vorstdooionderzoek

3.6 Petrografisch onderzoek

Voor het uitvoeren van petrografisch onderzoek zijn uit drie cilinders slijpplaatjes vervaardigd. Slijpplaatjes zijn microscopische preparaten met een dikte van ±30μm dik. Bij de uitvoering van het petrografisch onderzoek is specifiek gekeken naar de typische schadebeelden van ASR, DEF en sulfaataantasting.

3.6.1 Slijpplaatje 9

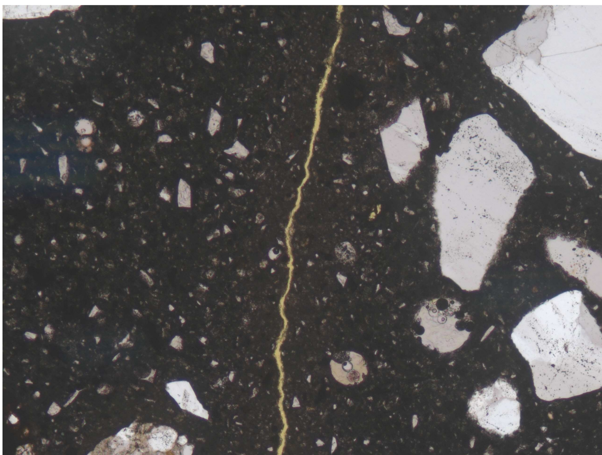
In dit slijpplaatje is een fijne verticale scheur vastgesteld. Zie ook de onderstaande figuur. Er is geen bewijs teruggevonden voor de aanwezigheid van ASR, DEF of sulfaataantasting. Er zijn wel enkele ASR gevoelige toeslagkorrels teruggevonden. In het plaatje is hoogovenslak aangetroffen.



Figuur 1: Slijpplaatje 9

3.6.2 Slijpplaatje 37

Ook in dit slijpplaatje is een verticale scheur zichtbaar (zie onderstaande figuur). Er is geen ASR, DEF of sulfaataantasting aangetroffen. In het preparaat is hoogovenslak vastgesteld.

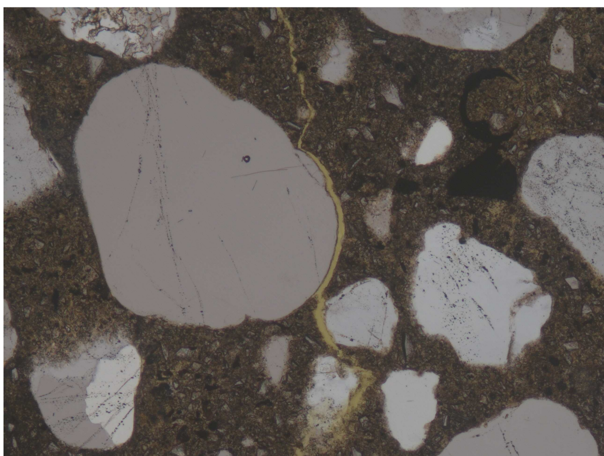


Figuur 2: Slijpplaatje 37, PPL

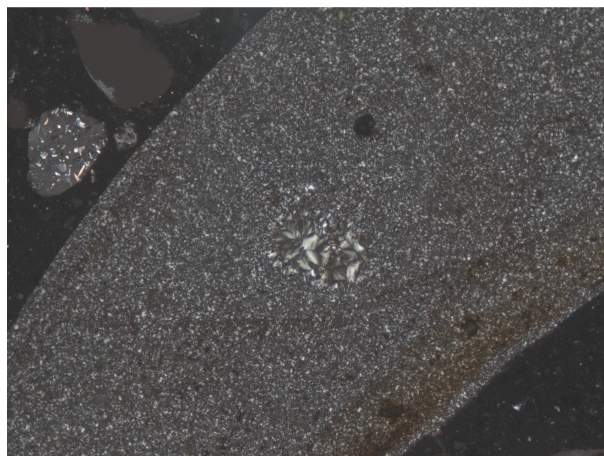
B|A|S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

3.6.3 Slijpplaatje 50

In slijpplaatje 50 is wederom sprake van fijne, verticale scheurvorming. Zie onderstaande figuur. Er zijn geen sporen van ASR, DEF of sulfaataantasting aangetroffen. Er is in relatie tot de andere slijpplaatjes veel ASR gevoelig toeslagmateriaal aangetroffen in de vorm van chert met chalcedoon (zie figuur).



Figuur 3: Slijpplaatje 50, PPL



Figuur 4: Chert met Chalcedoon, XPL

ir. S. Leurs
Consultant

ir. J.W.M. Bovend'Eerdt
Manager schade-expertise & inspecties

B|A|S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 2A



Afmetingen:
hoogte: 103 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☐ klein ☑ middel ☐ groot
☑ weinig ☐ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☐ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☐ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☐ 16 mm ☑ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☑ ja ☐ nee
diameter: mm
corrosie:
☑ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
56	20				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B|A|S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 3



Afmetingen:

hoogte: 115 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
- [x] goed
- [ ] matig
- [ ] slecht

luchtbellen:
- [ ] klein
- [x] middel
- [ ] groot
- [x] weinig
- [ ] matig
- [ ] veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
- [ ] ja
- [x] nee

scheuren:
- [ ] ja
- [x] nee
- [ ] plastisch
- [ ] door toeslag
- [ ] craquele

scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
- [x] goed
- [ ] matig
- [ ] slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
- [x] rond
- [ ] gebroken
- [ ] veel plat

uiterlijk:
- [x] kwartsachtig
- [ ] amorf
- [ ] gescheurd
- [x] gaaf
- [ ] poreus
- [ ] aangetast

Dmax:
- [ ] 8 mm
- [x] 16 mm
- [ ] 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
- [ ] ja
- [x] nee

segregatie
- [x] niet
- [ ] matig
- [ ] veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
- [x] flint
- [ ] hout
- [ ] schelpen
- [ ] pyriet
- [ ] anders, nl.:

Wapening:
- [x] ja
- [ ] nee

diameter: mm

corrosie:
- [x] licht
- [ ] matig
- [ ] veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
81	15				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B | A | S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 4



Afmetingen:
hoogte: 95 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☐ middel ☐ groot
☑ weinig ☐ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☐ goed ☐ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☐ rond ☐ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☐ kwartsachtig ☐ amorf ☐ gescheurd
☐ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☐ ja ☐ nee
diameter: mm
corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 5



Afmetingen:
hoogte: 105 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☐ middel ☐ groot
☑ weinig ☐ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☐ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☐ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☑ ja ☐ nee
diameter: mm
corrosie:
☐ licht ☑ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
59	15				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B | A | S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 6



Afmetingen:

hoogte: 125 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
- [ ] goed
- [x] matig
- [ ] slecht

luchtbellen:
- [ ] klein
- [x] middel
- [ ] groot
- [x] weinig
- [ ] matig
- [ ] veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
- [ ] ja
- [x] nee

scheuren:
- [ ] ja
- [x] nee
- [ ] plastisch
- [ ] door toeslag
- [ ] craquele

scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
- [x] goed
- [ ] matig
- [ ] slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
- [x] rond
- [ ] gebroken
- [ ] veel plat

uiterlijk:
- [x] kwartsachtig
- [ ] amorf
- [ ] gescheurd
- [x] gaaf
- [ ] poreus
- [ ] aangetast

Dmax:
- [ ] 8 mm
- [x] 16 mm
- [ ] 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
- [ ] ja
- [x] nee

segregatie
- [x] niet
- [ ] matig
- [ ] veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
- [x] flint
- [ ] hout
- [ ] schelpen
- [ ] pyriet
- [ ] anders, nl.:

Wapening:
- [x] ja
- [ ] nee

diameter: mm

corrosie:
- [x] licht
- [ ] matig
- [ ] veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
52	20				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B|A|S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 7



Afmetingen:
hoogte: 75 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☐ middel ☐ groot
☑ weinig ☐ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☐ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☐ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☑ ja ☐ nee
diameter: mm
corrosie:
☑ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

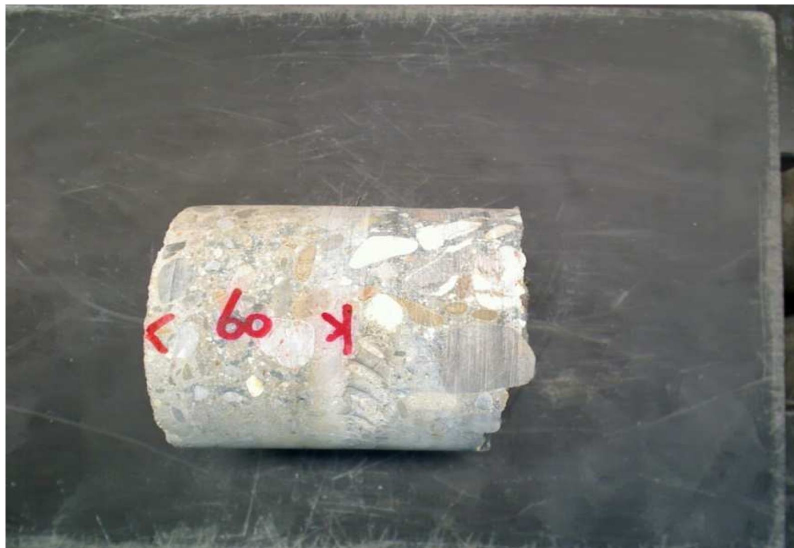
bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
60	15				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B|A|S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 8



Afmetingen:
hoogte: 115 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
- [x] goed - [ ] matig - [ ] slecht

luchtbellen:
- [x] klein - [ ] middel - [ ] groot
- [x] weinig - [ ] matig - [ ] veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
- [ ] ja - [x] nee

scheuren:
- [ ] ja - [x] nee
- [ ] plastisch - [ ] door toeslag - [ ] craquele

scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
- [x] goed - [ ] matig - [ ] slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
- [x] rond - [ ] gebroken - [ ] veel plat

uiterlijk:
- [x] kwartsachtig - [ ] amorf - [ ] gescheurd
- [x] gaaf - [ ] poreus - [ ] aangetast

Dmax:
- [ ] 8 mm - [x] 16 mm - [x] 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
- [ ] ja - [x] nee

segregatie
- [x] niet - [ ] matig - [ ] veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
- [ ] flint - [ ] hout - [ ] schelpen
- [x] pyriet - [ ] anders, nl.:

Wapening:
- [ ] ja - [x] nee

diameter: mm
corrosie:
- [ ] licht - [ ] matig - [ ] veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B | A | S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 9



Afmetingen:
hoogte: 128 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☐ middel ☐ groot
☑ weinig ☐ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☐ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☐ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☑ ja ☐ nee
diameter: mm
corrosie:
☑ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
60	15				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B|A|S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 10



Afmetingen:

hoogte: 78 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
- [x] goed
- [ ] matig
- [ ] slecht

luchtbellen:
- [x] klein
- [ ] middel
- [ ] groot
- [x] weinig
- [ ] matig
- [ ] veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
- [ ] ja
- [x] nee

scheuren:
- [ ] ja
- [x] nee
- [ ] plastisch
- [ ] door toeslag
- [ ] craquele

scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
- [x] goed
- [ ] matig
- [ ] slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
- [x] rond
- [ ] gebroken
- [ ] veel plat

uiterlijk:
- [x] kwartsachtig
- [ ] amorf
- [ ] gescheurd
- [x] gaaf
- [ ] poreus
- [ ] aangetast

Dmax:
- [ ] 8 mm
- [x] 16 mm
- [ ] 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
- [ ] ja
- [x] nee

segregatie
- [x] niet
- [ ] matig
- [ ] veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
- [x] flint
- [ ] hout
- [ ] schelpen
- [ ] pyriet
- [ ] anders, nl.:

Wapening:
- [x] ja
- [ ] nee

diameter: mm

corrosie:
- [x] licht
- [ ] matig
- [ ] veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
63	15				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 11



Afmetingen:

hoogte: 100 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

luchtbellen:
☐ klein ☑ middel ☐ groot
☑ weinig ☐ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee

scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele

scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
☑ rond ☐ gebroken ☐ veel plat

uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☐ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast

Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
☐ ja ☑ nee

segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:

☑ ja ☐ nee

diameter: mm

corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
60	20				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B|A|S RESEARCH & TECHNOLOGY BASRT.EU

Project:	Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel:	visuele inspectie cilinders
monstercode:	12



Afmetingen:

hoogte: 120 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
- [x] goed
- [ ] matig
- [ ] slecht

luchtbellen:
- [x] klein
- [ ] middel
- [ ] groot
- [x] weinig
- [ ] matig
- [ ] veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
- [ ] ja
- [x] nee

scheuren:
- [ ] ja
- [x] nee
- [ ] plastisch
- [ ] door toeslag
- [ ] craquele

scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
- [x] goed
- [ ] matig
- [ ] slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
- [x] rond
- [ ] gebroken
- [ ] veel plat

uiterlijk:
- [x] kwartsachtig
- [ ] amorf
- [ ] gescheurd
- [x] gaaf
- [ ] poreus
- [ ] aangetast

Dmax:
- [x] 8 mm
- [ ] 16 mm
- [ ] 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
- [ ] ja
- [x] nee

segregatie
- [x] niet
- [ ] matig
- [ ] veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
- [ ] flint
- [ ] hout
- [ ] schelpen
- [ ] pyriet
- [ ] anders, nl.:

Wapening:
- [x] ja
- [ ] nee

diameter: mm

corrosie:
- [ ] licht
- [ ] matig
- [ ] veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
91	15				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B | A | S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 13



Afmetingen:

hoogte: 87 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

luchtbellen:
☐ klein ☑ middel ☐ groot
☐ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee

scheuren:
☑ ja ☐ nee
☑ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele

scheurwijdte: 0,4 mm
hoogte: 40 mm
lengte: mm
aantal: 2 stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
☑ rond ☐ gebroken ☐ veel plat

uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☐ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast

Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
☐ ja ☑ nee

segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

☐ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:

☑ ja ☐ nee

diameter: mm

corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
54	12				
66	20				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B | A | S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project:	Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel:	visuele inspectie cilinders
monstercode:	36



Afmetingen:

hoogte: 130 mm

diameter: 94 mm

Visuele inspectie:

verdichting:

☐ goed ☑ matig ☐ slecht

luchtbellen:

☐ klein ☑ middel ☐ groot

☐ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:

☐ ja ☑ nee

scheuren:

☐ ja ☑ nee

☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele

scheurwijdte: mm

hoogte: mm

lengte: mm

aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:

☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:

☑ rond ☐ gebroken ☐ veel plat

uiterlijk:

☑ kwartsachtig ☐ amorf ☐ gescheurd

☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast

Dmax:

☐ 8 mm ☐ 16 mm ☑ 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:

☐ ja ☑ nee

segregatie

☑ niet ☐ matig ☐ veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

☐ flint ☐ hout ☐ schelpen

☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:

☐ ja ☑ nee

diameter: mm

corrosie:

☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B|A|S RESEARCH & TECHNOLOGY BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 37



Afmetingen:
hoogte: 130 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☑ goed ☑ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☑ middel ☐ groot
☐ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☑ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☐ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☐ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☐ 16 mm ☑ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☐ ja ☑ nee
diameter: mm
corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B|A|S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 38



Afmetingen:

hoogte: 122 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
- [x] goed
- [ ] matig
- [ ] slecht

luchtbellen:
- [x] klein
- [x] middel
- [ ] groot
- [x] weinig
- [ ] matig
- [ ] veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
- [ ] ja
- [x] nee

scheuren:
- [ ] ja
- [x] nee
- [ ] plastisch
- [ ] door toeslag
- [ ] craquele

scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
- [x] goed
- [ ] matig
- [ ] slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
- [x] rond
- [ ] gebroken
- [ ] veel plat

uiterlijk:
- [x] kwartsachtig
- [ ] amorf
- [ ] gescheurd
- [x] gaaf
- [ ] poreus
- [ ] aangetast

Dmax:
- [ ] 8 mm
- [ ] 16 mm
- [x] 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
- [ ] ja
- [x] nee

segregatie
- [x] niet
- [ ] matig
- [ ] veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
- [x] flint
- [ ] hout
- [ ] schelpen
- [ ] pyriet
- [ ] anders, nl.:

Wapening:
- [x] ja
- [ ] nee

diameter: mm

corrosie:
- [ ] licht
- [ ] matig
- [ ] veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
65	15				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 39



Afmetingen:
hoogte: 107 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☐ middel ☐ groot
☑ weinig ☐ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☑ ja ☐ nee
diameter: mm
corrosie:
☑ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
74	25				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B|A|S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 40



Afmetingen:
hoogte: 147 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☑ middel ☐ groot
☑ weinig ☐ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☐ ja ☑ nee
diameter: mm
corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 41



Afmetingen:

hoogte: 129 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

luchtbellen:
☐ klein ☑ middel ☐ groot
☐ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee

scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele

scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat

uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast

Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
☐ ja ☑ nee

segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:

☐ ja ☑ nee

diameter: mm

corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 42



Afmetingen:
hoogte: 135 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☐ klein ☑ middel ☐ groot
☐ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☑ ja ☐ nee
diameter: mm
corrosie:
☑ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
57	25				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B | A | S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 43



Afmetingen:
hoogte: 130 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☑ middel ☐ groot
☐ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☑ ja ☐ nee
diameter: mm
corrosie:
☑ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
95	25				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B|A|S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 44



Afmetingen:
hoogte: 124 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☐ goed ☑ matig ☑ slecht
luchtbellen:
☐ klein ☑ middel ☐ groot
☐ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☑ ja ☐ nee
diameter: mm
corrosie:
☑ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
82	20				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 45



Afmetingen:

hoogte: 132 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht

luchtbellen:
☑ klein ☐ middel ☐ groot
☑ weinig ☐ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee

scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele

scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat

uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast

Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
☐ ja ☑ nee

segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:

☐ ja ☑ nee

diameter: mm

corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B | A | S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project:	Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel:	visuele inspectie cilinders
monstercode:	46



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 98 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☑ middel ☐ groot
☑ weinig ☐ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☐ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:

☐ ja ☑ nee
diameter: mm
corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 47



Afmetingen:

hoogte: 100 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

luchtbellen:
☐ klein ☑ middel ☐ groot
☐ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee

scheuren:
☑ ja ☐ nee
☑ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele

scheurwijdte: 0,4 mm
hoogte: 62 mm
lengte: 120 mm
aantal: 1 stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat

uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast

Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
☐ ja ☑ nee

segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:

☑ ja ☐ nee

diameter: mm

corrosie:
☑ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
62	25				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B|A|S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 48



Afmetingen:
hoogte: 100 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☑ middel ☐ groot
☐ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☑ ja ☐ nee
diameter: mm
corrosie:
☐ licht ☑ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
70	12				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 49



Afmetingen:

hoogte: 125 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
- [x] goed - [x] matig - [ ] slecht

luchtbellen:
- [x] klein - [ ] middel - [ ] groot
- [ ] weinig - [x] matig - [ ] veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
- [ ] ja - [x] nee

scheuren:
- [ ] ja - [x] nee
- [ ] plastisch - [ ] door toeslag - [ ] craquele

scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
- [ ] goed - [x] matig - [ ] slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
- [x] rond - [x] gebroken - [ ] veel plat

uiterlijk:
- [x] kwartsachtig - [x] amorf - [ ] gescheurd
- [x] gaaf - [ ] poreus - [ ] aangetast

Dmax:
- [ ] 8 mm - [x] 16 mm - [ ] 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
- [ ] ja - [x] nee

segregatie
- [x] niet - [ ] matig - [ ] veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
- [x] flint - [ ] hout - [ ] schelpen
- [ ] pyriet - [ ] anders, nl.:

Wapening:
- [ ] ja - [x] nee

diameter: mm

corrosie:
- [ ] licht - [ ] matig - [ ] veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B|A|S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 50



Afmetingen:

hoogte: 145 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
☑ goed ☑ matig ☐ slecht

luchtbellen:
☑ klein ☑ middel ☐ groot
☑ weinig ☐ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee

scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele

scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat

uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast

Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
☐ ja ☑ nee

segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:

☐ ja ☑ nee

diameter: mm

corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 51



Afmetingen:
hoogte: 86 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☑ goed ☑ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☑ middel ☐ groot
☑ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☑ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☑ ja ☐ nee
diameter: mm
corrosie:
☑ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
60	25				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B | A | S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 56



Afmetingen:
hoogte: 134 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☐ middel ☐ groot
☑ weinig ☐ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☑ ja ☐ nee
diameter: mm
corrosie:
☑ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
69	20				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B|A|S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 57



Afmetingen:

hoogte: 130 mm
diameter: 94 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

luchtbellen:
☐ klein ☑ middel ☐ groot
☐ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee

scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele

scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
☑ rond ☐ gebroken ☐ veel plat

uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☐ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast

Dmax:
☐ 8 mm ☐ 16 mm ☑ 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
☐ ja ☑ nee

segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:

☐ ja ☑ nee

diameter: mm

corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B | A | S
RESEARCH & TECHNOLOGY

B|A|S
Olivier van Noortweg 10
5928 LX Venlo
The Netherlands
T +31 (0)77 850 72 22
F +31 (0)77 850 72 23
info@basrt.eu
www.basrt.eu
Venlo nr. 9298

B|A|S Rapport:	2015-0343-002
Onderwerp:	Onderzoek Tunnel HSL Fase 2
Datum rapport:	22 april 2015
Opdrachtgever:	Railinfra Solutions V.O.F
Adres opdrachtgever:	Leidseveer 4 3511 SB Utrecht Nederland

Projectnaam:	Onderzoek tunnels HSL
Projectnummer:	2015-0343
Datum onderzoek:	11 februari 2015
Auteur:	ir. S. Leurs

Thema:	Beton
Trefwoorden:	Vorstdooi onderzoek, carbonatatie, chloridenprofiel, petrografisch onderzoek

Inhoudsopgave

1 Inleiding

In opdracht van Railinfra Solutions V.O.F. heeft B|A|S Research & Technology onderzoek uitgevoerd aan door de opdrachtgever aangeleverde betoncilinders.

Het betreft onderzoek voor het bepalen van de druksterkte, de vorstdooi bestandheid, carbonatatiediepte, chloridenprofiel en een petrografisch onderzoek naar schademechanismen als DEF, ASR en sulfaataantasting.

De resultaten van het onderzoek zijn in deze rapportage uiteengezet.

2 Laboratoriumonderzoek

De cilinders zijn aangeleverd door de opdrachtgever en de locatie van monstername is bij B|A|S niet bekend. De door de opdrachtlever aangeleverde cilinders zijn in onderstaande tabel weergegeven. Tevens is hier aangegeven welke onderzoeken op de cilinders zijn uitgevoerd.

Codering	Uitgevoerde onderzoeken
2A	Vorstdooi onderzoek
14	Visuele inspectie, Carbonatatiediepte, Chloridengehalte, Petrografisch onderzoek
15	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
16	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
17	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
18	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
19	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
20	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
21	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
22	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
23	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
24	Visuele inspectie
25	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek, Petrografisch onderzoek
26	Visuele inspectie, Carbonatatiediepte, Chloridengehalte
27	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
28	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
29	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
30	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
31	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
32	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
33	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
34	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
35	Visuele inspectie, Vorstdooi onderzoek
41	Carbonatatiediepte, Chloridengehalte

Tabel 1: Overzicht monsters

2.1 Visuele inspectie cilinders

De verdichting van de cilinders varieert van matig tot goed verdicht met een kleine tot gematigde hoeveelheid luchtbellen. De grootte van de luchtbellen variëren van klein tot matig groot van aard. Het toeslagmateriaal is in de regel rond, kwartsachtig en gaaf. In enkele cilinders is gebroken en amorf toeslagmateriaal aangetroffen. De D_{max} varieert per cilinder (16 en 32 mm). In de meeste cilinders zijn verontreiniging met flint aanwezig. Dit kan een ASR gevoelig toeslagmateriaal zijn. Nergens zijn waterlenzen of enige vorm van segregatie (ontmenging) aangetroffen.

De volledige visuele inspectie is opgenomen in bijlage 1.


Figuur 1: Cilinder zoals aangeleverd door de opdrachtgever.

2.2 Carbonatatiediepte

Carbonatatie is het proces waarbij het beton reageert met de koolstofdioxide uit de lucht. De snelheid waarmee het carbonatatiefront voortschrijdt is o.a. afhankelijk van de permeabiliteit van de deklaag. Wanneer het carbonatatiefront de wapening bereikt kan deze de zogenaamde passiveringslaag op de wapening aantasten. Er is nu nog geen sprake van corrosie. Echter indien water en zuurstof de wapening bereikt ontstaat er een vergrote kans op corrosie.

Carbonatatie zorgt voor een verlaging van de heersende pH. Door middel van een indicator voor de pH kan het carbonatatiefront zichtbaar worden gemaakt. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van Fenolfthaleine. Deze indicatorvloeistof blijft kleurloos bij een pH kleiner dan 8,2. De vloeistof kleurt paars bij een pH hoger dan 10.

De carbonatatiediepte is bepaald conform NEN-EN 14630.

monstercode	gemiddeld	max
	[mm]	[mm]
14	5	10
26	7,4	12
41	8,2	15

Tabel 2: Resultaten carbonatatiediepte.

2.3 Chloridenprofiel

Het onderzoek naar het chloridengehalte is uitgevoerd conform BSW-rapport 96-01.
Van elk monster is per laag een minimale monstermassa van 10 gram gebruikt voor de natchemisch gecombineerde bepaling van cement- en chloridegehalte. Ter ontsluiting van het monstermateriaal is salpeterzuur toegepast. De chloridetitratie is uitgevoerd middels directpotentiometrie.

Het chloridengehalte wordt bepaald in massapercentage chloriden ten opzichte van cement. Het kritisch chloridengehalte, waarbij corrosie plaatsvindt, kan variëren. Dit is onder meer afhankelijk het milieu waarin zich de constructie bevindt (temperatuur en vochtigheid), maar ook bijvoorbeeld van de betonkwaliteit (type cement, permeabiliteit e.d.). In de richtlijn van Rijkswaterstaat (RL-CRCI V1.0 JoGu) wordt aangenomen dat er zeker geen corrosie optreedt bij een waarde kleiner dan 0,15% m/m cement en er zeker corrosie ontstaat als het chloridengehalte boven 0,90%m/m cement komt.

De resultaten van het onderzoek zijn weergegeven in onderstaande tabel.

monstercode	diepte [mm]	cementgehalte [% m/m beton]	chloridegehalte [% m/m cement]	chloridegehalte [% m/m beton]
14	0-10	14	0,1	0,01
	10-20	16	0,1	0,01
	20-30	16	0,0	0,01
	30-40	15	0,1	0,01
26	0-10	12	0,1	0,02
	10-20	13	0,2	0,02
	20-30	12	0,2	0,02
	30-40	15	0,2	0,02
41	0-10	9	0,1	0,01
	10-20	11	0,3	0,03
	20-30	12	0,2	0,02
	30-40	13	0,2	0,02

Tabel 3: Resultaten chloridengehalte

2.4 Vorstdooi onderzoek

Het onderzoek is uitgevoerd conform NPR-CEN/TS 12390-9: 2006 EN. Voor dit onderzoek zijn de cilinders ingepakt in rubber en zijn de randen afgekit met een vorstbestendige kit. De proefstukken zijn vervolgens met een laagje demiwater erop in de vorstdooi kast geplaatst. Wekelijks zijn de schilfers afkomstig van het proefstuk verzameld en gewogen. De resultaten van het onderzoek zijn in onderstaande tabel weergegeven.

monster	testoppervlak	massaverlies per m²				
		7 dagen	14 dagen	28 dagen	42 dagen	56 dagen
code	[10^{-3} m²]	[kg/m²]	[kg/m²]	[kg/m²]	[kg/m²]	[kg/m²]
15	3,9	0,26	0,62	1,30	2,28	3,06
16	4,8	0,18	1,06	2,80	5,32	5,54
17	4,2	0,20	0,40	1,00	2,18	3,36
18	4,6	1,30	2,04	3,70	5,60	6,10
19	4,5	0,54	0,76	4,48	5,78	7,20
20	4,2	0,96	1,36	2,92	6,02	9,06
21	4,6	0,52	1,62	2,20	4,96	6,32
22	4,8	0,52	1,06	4,84	7,36	10,54
23	4,2	0,02	0,02	0,06	5,68	10,50
24	4,7	0,10	0,16	0,56	2,82	4,74
25	4,6	0,00	0,00	0,00	1,46	4,88
27	4,8	0,24	0,36	3,78	5,08	6,62
28	4,4	2,14	4,02	7,24	14,92	17,62
29	4,5	0,32	1,18	5,72	10,92	16,80
30	4,4	0,22	0,44	3,86	7,54	9,22
31	4,7	0,22	0,32	0,44	0,72	0,86
32	4,7	0,20	0,34	0,54	0,70	0,98
33	4,4	0,02	0,16	1,70	2,98	3,18
34	4,6	0,02	0,02	0,04	1,08	2,94
35	4,7	0,28	0,42	2,14	3,72	4,60
gemiddeld		0,42	0,82	2,46	3,14	4,18
maximum		2,14	4,02	7,24	5,32	5,54

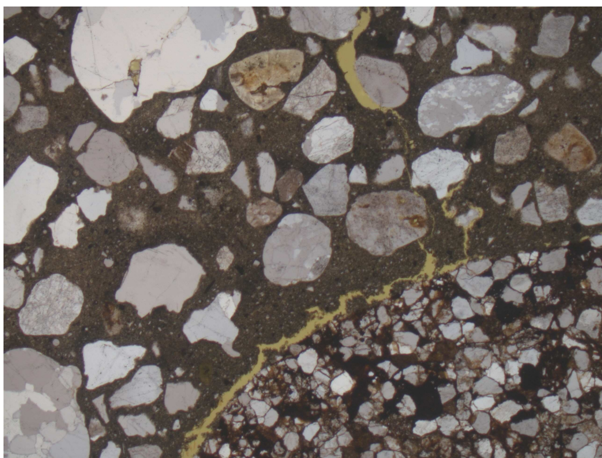
Tabel 4: Resultaten vorstdooi onderzoek

2.5 Petrografisch onderzoek

Uit een aantal cilinders is een slijpplaatje vervaardigd. Dit is een microscopisch preparaat van ±30µm dik. Door middel van petrografisch onderzoek zijn deze slijpplaatjes onderzocht en is gekeken naar de aanwezigheid van scheurvorming, de cementsoort en tekenen van schadelijke schademechanismen zoals DEF, ASR of sulfaataantasting. De resultaten van het onderzoek zijn in onderstaande paragrafen beschreven.

2.5.1 Slijpplaatje van kern 14

In dit slijpplaatje is scheurvorming aangetroffen haaks op het oppervlak. De scheuren lopen langs de toeslagkorrels. Er zijn geen ASR gevoelige korrels aangetroffen. Er is geen sprake van ASR gel of tekenen wijzende op DEF aangetroffen. Uit het slijpplaatje blijkt dat het beton is vervaardigd met een portlandcement met hoogovenslak.



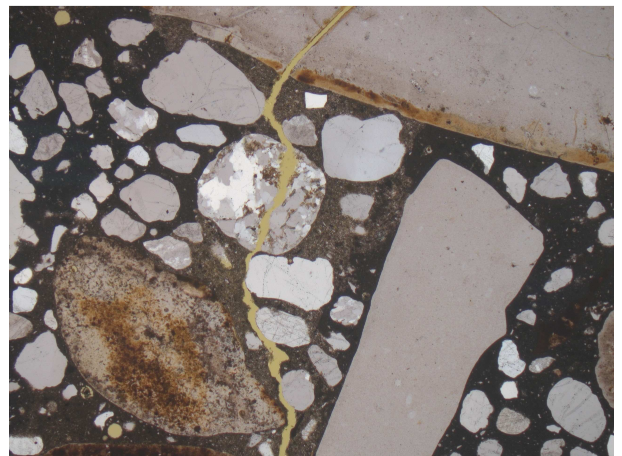
Figuur 1: kern 14, scheurvorming langs toeslagkorrels (vergroting 25X, PPL)

2.5.2 Slijpplaatje van kern 26

In dit slijpplaatje is ook scheurvorming aangetroffen haaks op het oppervlak. De scheuren lopen over het algemeen langs de toeslagkorrels maar ook door enkele toeslagkorrels. Er zijn ASR gevoelige toeslagkorrels, chertkorrels met calcedoon, aangetroffen. Uit het slijpplaatje blijkt dat het beton is vervaardigd met een portlandcement met hoogovenslak. Ook in dit slijpplaatje is geen ASR gel of DEF aangetroffen.



Figuur 2: kern 26 chert met chalcedoon (vergroting 100X XPL)



Figuur 3: kern 26 scheurvorming (vergroting 25X PPL)

ir. S. Leurs
Consultant

ir. J.W.M. Bovend'Eerdt
Manager schade-expertise & inspecties

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 14



Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
61	20				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Afmetingen:

hoogte: 124 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
☑ goed ☑ matig ☐ slecht

luchtbellen:
☑ klein ☑ middel ☐ groot
☑ weinig ☐ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee

scheuren:
☑ ja ☐ nee
☑ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele

scheurwijdte: 0,3 mm
hoogte: 41 mm
lengte: 90 mm
aantal: 1 stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
☑ rond ☐ gebroken ☐ veel plat

uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☐ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast

Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
☐ ja ☑ nee

segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

☐ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

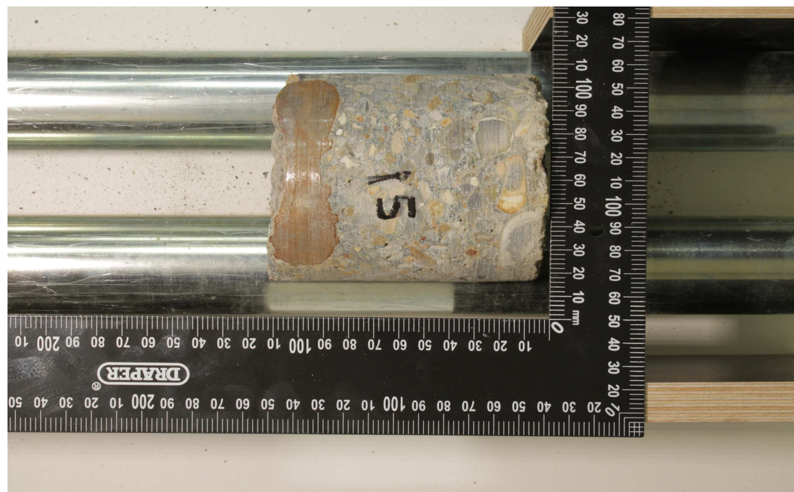
Wapening:

☑ ja ☐ nee

diameter: mm

corrosie:
☑ licht ☐ matig ☐ veel

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 15



Afmetingen:
hoogte: 112 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☑ goed ☑ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☐ middel ☐ groot
☑ weinig ☐ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☑ ja ☐ nee
diameter: mm
corrosie:
☑ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
82	24				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B | A | S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 16



Afmetingen:
hoogte: 110 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☐ middel ☐ groot
☑ weinig ☐ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☐ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☐ ja ☑ nee
diameter: mm
corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

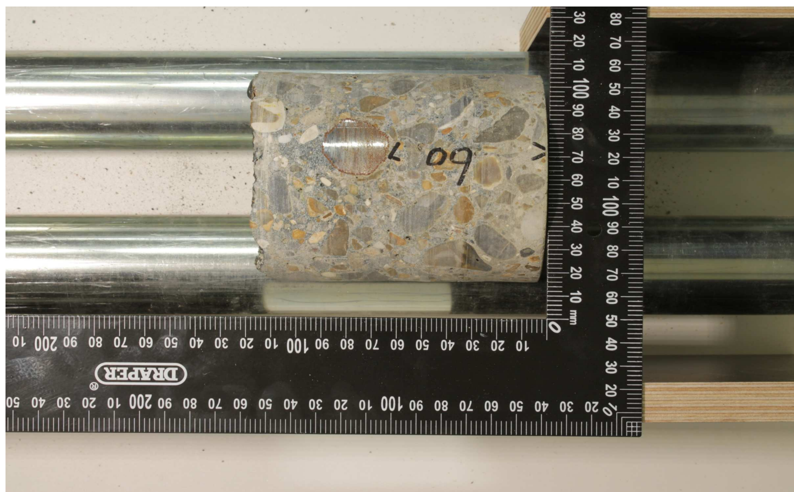
Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project:	Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel:	visuele inspectie cilinders
monstercode:	17



Afmetingen:

hoogte: 120 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht

luchtbellen:
☑ klein ☐ middel ☐ groot
☑ weinig ☐ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee

scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele

scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat

uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast

Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
☐ ja ☑ nee

segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:

☑ ja ☐ nee

diameter: mm

corrosie:
☑ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
64	24				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project:	Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel:	visuele inspectie cilinders
monstercode:	18



Afmetingen:

hoogte: 95 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

luchtbellen:
☑ klein ☑ middel ☐ groot
☐ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee

scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele

scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat

uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast

Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
☐ ja ☑ nee

segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:

☑ ja ☐ nee

diameter: mm

corrosie:
☑ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
65	10				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B|A|S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 19



Afmetingen:
hoogte: 117 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☐ klein ☑ middel ☐ groot
☐ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☐ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☐ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☐ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☑ ja ☐ nee
diameter: mm
corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

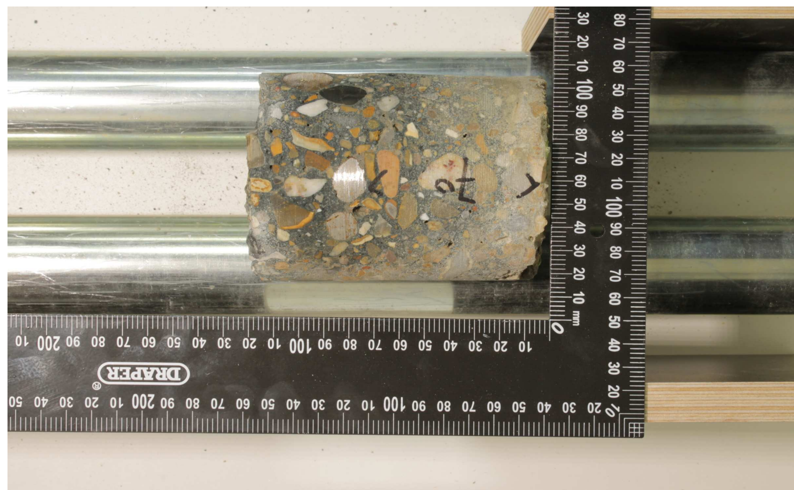
bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
4520					

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B|A|S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 20



Afmetingen:
hoogte: 120 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☐ middel ☐ groot
☑ weinig ☐ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☑ ja ☐ nee
diameter: mm
corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
87	20				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 21



Afmetingen:

hoogte: 125 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
- [x] goed - [x] matig - [ ] slecht

luchtbellen:
- [x] klein - [x] middel - [ ] groot
- [ ] weinig - [x] matig - [ ] veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
- [ ] ja - [x] nee

scheuren:
- [ ] ja - [x] nee
- [ ] plastisch - [ ] door toeslag - [ ] craquele

scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
- [ ] goed - [x] matig - [ ] slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
- [ ] rond - [x] gebroken - [ ] veel plat

uiterlijk:
- [x] kwartsachtig - [x] amorf - [ ] gescheurd
- [x] gaaf - [ ] poreus - [ ] aangetast

Dmax:
- [ ] 8 mm - [x] 16 mm - [ ] 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
- [ ] ja - [x] nee

segregatie
- [x] niet - [ ] matig - [ ] veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
- [x] flint - [ ] hout - [ ] schelpen
- [ ] pyriet - [ ] anders, nl.:

Wapening:
- [x] ja - [ ] nee

diameter: mm

corrosie:
- [ ] licht - [ ] matig - [ ] veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
90	25				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B|A|S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 22



Afmetingen:

hoogte: 113 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

luchtbellen:
☐ klein ☑ middel ☐ groot
☐ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee

scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele

scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat

uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast

Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
☐ ja ☑ nee

segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:

☐ ja ☑ nee

diameter: mm

corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

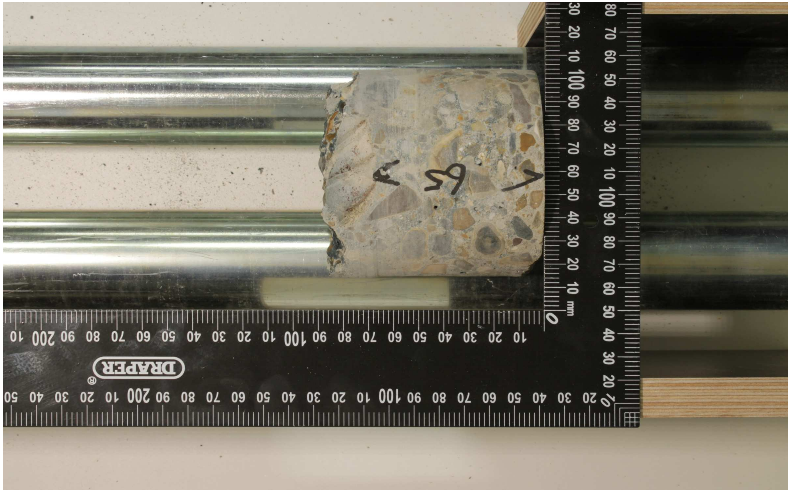
Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 23



Afmetingen:
hoogte: 89 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☐ middel ☐ groot
☑ weinig ☐ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☐ ja ☑ nee
diameter: mm
corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

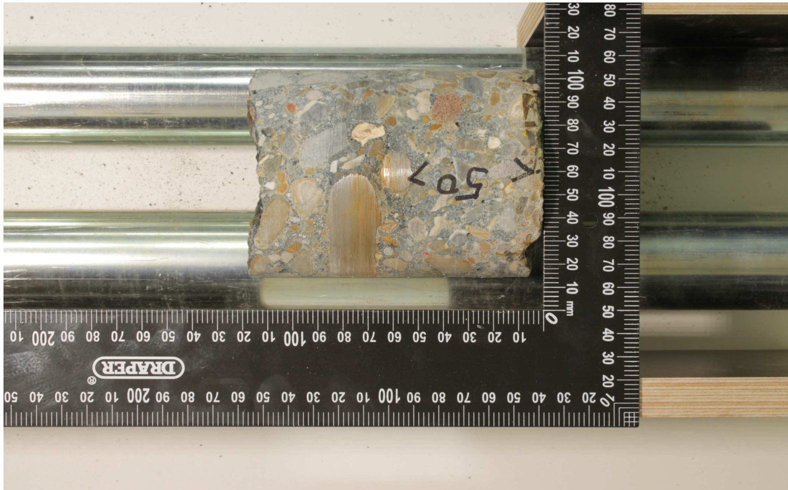
Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 24



Afmetingen:
hoogte: 120 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
- [ ] goed
- [x] matig
- [ ] slecht

luchtbellen:
- [ ] klein
- [x] middel
- [ ] groot
- [ ] weinig
- [x] matig
- [ ] veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
- [ ] ja
- [x] nee

scheuren:
- [ ] ja
- [x] nee
- [ ] plastisch
- [ ] door toeslag
- [ ] craquele

scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
- [ ] goed
- [x] matig
- [ ] slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
- [ ] rond
- [x] gebroken
- [ ] veel plat

uiterlijk:
- [x] kwartsachtig
- [x] amorf
- [ ] gescheurd
- [x] gaaf
- [ ] poreus
- [ ] aangetast

Dmax:
- [ ] 8 mm
- [x] 16 mm
- [ ] 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
- [ ] ja
- [x] nee

segregatie
- [x] niet
- [ ] matig
- [ ] veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
- [x] flint
- [ ] hout
- [ ] schelpen
- [ ] pyriet
- [ ] anders, nl.:

Wapening:
- [x] ja
- [ ] nee

diameter: mm
corrosie:
- [ ] licht
- [ ] matig
- [ ] veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
52	10				
65	20				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B | A | S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project:	Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel:	visuele inspectie cilinders
monstercode:	25



Afmetingen:

hoogte: 115 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

luchtbellen:
☑ klein ☑ middel ☐ groot
☑ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee

scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele

scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
☑ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
☐ rond ☑ gebroken ☐ veel plat

uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☑ poreus ☐ aangetast

Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
☐ ja ☑ nee

segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:

☑ ja ☐ nee

diameter: mm

corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
62	18				
86	15				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B | A | S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 26



Afmetingen:
hoogte: 110 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☑ goed ☑ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☑ middel ☐ groot
☑ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☑ ja ☐ nee
☑ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: 0,05 mm
hoogte: mm
lengte: 95 mm
aantal: 1 stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☑ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☐ rond ☑ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☑ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☑ ja ☐ nee
diameter: mm
corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

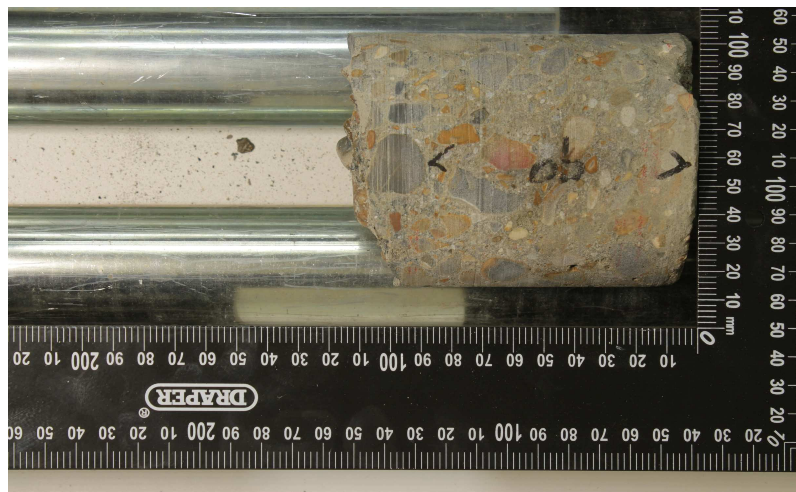
bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
63	18				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B|A|S RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 27



Afmetingen:
hoogte: 115 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☐ klein ☑ middel ☐ groot
☐ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☐ ja ☑ nee
diameter: mm
corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

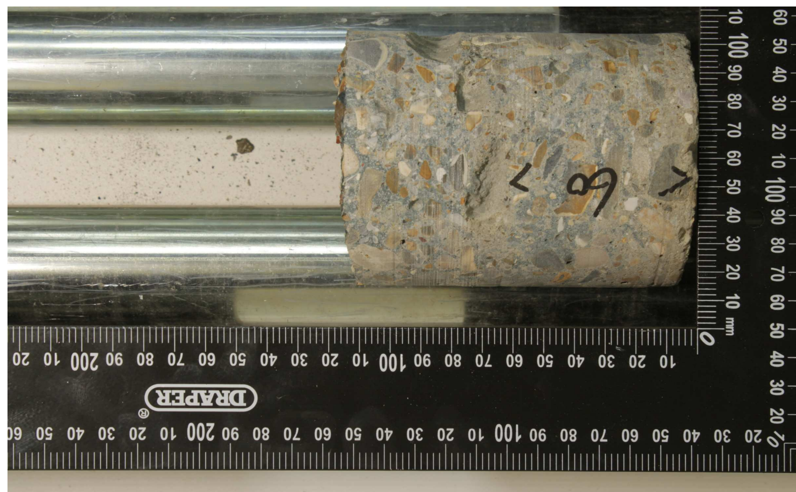
bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B | A | S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 28



Afmetingen:
hoogte: 115 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☑ goed ☑ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☑ middel ☐ groot
☑ weinig ☐ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☑ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☐ rond ☑ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☑ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☐ ja ☑ nee
diameter: mm
corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B|A|S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 29



Afmetingen:

hoogte: 95 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:

verdichting:
[x] goed [x] matig [ ] slecht

luchtbellen:
[x] klein [x] middel [ ] groot
[ ] weinig [x] matig [ ] veel

Oppervlak proefstuk:

coating aanwezig:
[ ] ja [x] nee

scheuren:
[ ] ja [x] nee
[ ] plastisch [ ] door toeslag [ ] craquele

scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:

dichtheid:
[ ] goed [x] matig [ ] slecht

Toeslagmateriaal:

vorm:
[x] rond [x] gebroken [ ] veel plat

uiterlijk:
[x] kwartsachtig [x] amorf [ ] gescheurd
[x] gaaf [x] poreus [ ] aangetast

Dmax:
[ ] 8 mm [x] 16 mm [ ] 32 mm

Onvolkomenheden:

waterlenzen:
[ ] ja [x] nee

segregatie
[x] niet [ ] matig [ ] veel

vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:

[x] flint [ ] hout [ ] schelpen
[ ] pyriet [ ] anders, nl.:

Wapening:

[x] ja [ ] nee

diameter: mm

corrosie:
[ ] licht [ ] matig [ ] veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
65	25				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B | A | S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 30



Afmetingen:
hoogte: 123 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☑ goed ☑ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☑ middel ☐ groot
☐ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☐ rond ☑ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☑ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☑ ja ☐ nee
diameter: mm
corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
87	20				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B | A | S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 31



Afmetingen:
hoogte: 95 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☑ middel ☐ groot
☐ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☐ ja ☑ nee
diameter: mm
corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

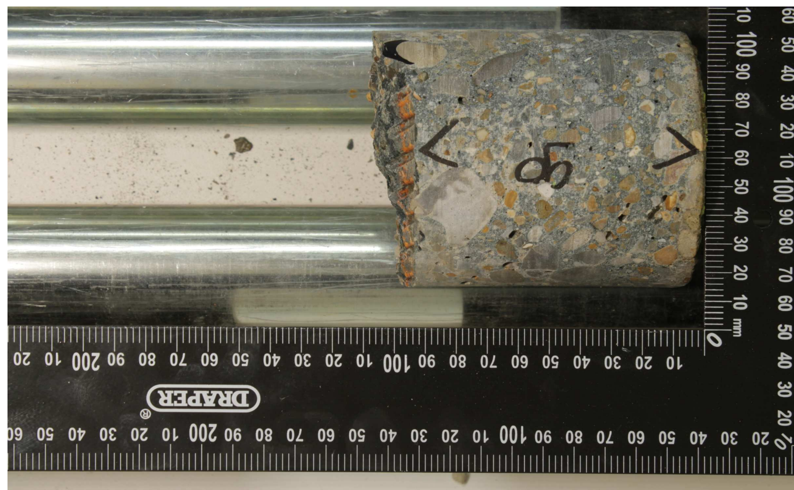
bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B|A|S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 32



Afmetingen:
hoogte: 105 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☑ middel ☐ groot
☐ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☐ ja ☑ nee
diameter: mm
corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 33



Afmetingen:
hoogte: 87 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☑ goed ☑ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☐ klein ☑ middel ☐ groot
☐ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☑ 16 mm ☐ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☑ ja ☐ nee
diameter: mm
corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
67	20				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B | A | S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 34



Afmetingen:
hoogte: 110 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☑ goed ☐ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☐ middel ☐ groot
☑ weinig ☐ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☐ 16 mm ☑ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☑ ja ☐ nee
diameter: mm
corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

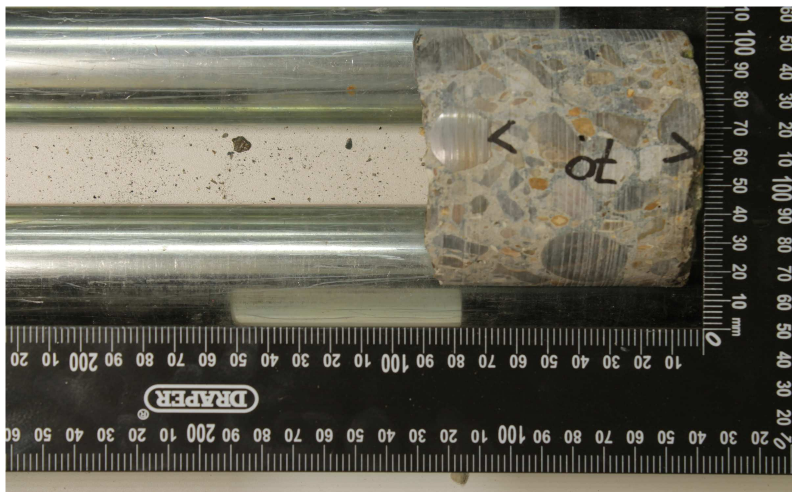
bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
62	25				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

B|A|S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU

Project: Onderzoek cilinders 2014
Onderdeel: visuele inspectie cilinders
monstercode: 35



Afmetingen:
hoogte: 87 mm
diameter: 93 mm

Visuele inspectie:
verdichting:
☑ goed ☑ matig ☐ slecht
luchtbellen:
☑ klein ☑ middel ☐ groot
☑ weinig ☑ matig ☐ veel

Oppervlak proefstuk:
coating aanwezig:
☐ ja ☑ nee
scheuren:
☐ ja ☑ nee
☐ plastisch ☐ door toeslag ☐ craquele
scheurwijdte: mm
hoogte: mm
lengte: mm
aantal: stuks

Doorsnede proefstuk:
dichtheid:
☐ goed ☑ matig ☐ slecht

Toeslagmateriaal:
vorm:
☑ rond ☑ gebroken ☐ veel plat
uiterlijk:
☑ kwartsachtig ☑ amorf ☐ gescheurd
☑ gaaf ☐ poreus ☐ aangetast
Dmax:
☐ 8 mm ☐ 16 mm ☑ 32 mm

Onvolkomenheden:
waterlenzen:
☐ ja ☑ nee
segregatie
☑ niet ☐ matig ☐ veel
vanaf stortzijde: mm

Verontreinigingen:
☑ flint ☐ hout ☐ schelpen
☐ pyriet ☐ anders, nl.:

Wapening:
☑ ja ☐ nee
diameter: mm
corrosie:
☐ licht ☐ matig ☐ veel

Dekking wapening

bovenwapening			onderwapening		
dekking*	diameter	soort	dekking*	diameter	soort
mm	mm	-	mm	mm	-
67	20				

* dekking van bovenzijde cilinder tot bovenzijde wapening

Opmerkingen

BIJLAGE III OVERZICHT BETONMENGSELS

	Van Der Velden - Mebin									
Mengselcode	A	A1	A3	C	D	D1	J	T	F	M
Betonkwaliteit										
Sterkteklasse	B25	B25	B25	B35	B25	B25	B45	B35	B25	B35
Sterkte t.b.v. uitvoering [N/mm^2]	20 na 1 wk	20 na 1 wk	20 na 1 wk	35 na 4 wkn	-	-	-	-	25 na 2 wk	15 na 88 uur
F'ck na 91 dagen [N/mm^2]	35	35	35	35	35	35	45	35	35	35
100 jaar levensduur	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Consistentiegebied	2	3	2	2	2	4	3	2	2	2
Bindmiddel										
CEM III/B 42,5 LH HS [Enci Rotterdam] ca.	280-320	300-340	230-270	300-340	280-320	300-340	280-320	350-390	290-330	320-360
CEM I 52,5 R [Enci Maastricht] ca.	-	-	50	-	-	-	80	-	-	-
Vliegas	30	30	30	0-40	30	30	-	-	30	10
Kalksteenmeel										
Slakgehalte [min. %]	65	65	53	65	65	65	51	65	65	65
Hulpstoffen [in %]	-	-	-	-	-				-	-
Plastificeerder						0,3-0,5	0,3-0,5	0,3-0,5		
Superplastificeerder						0,3-0,5	0,3-0,5	0,3-0,5		
Vertrager						-	-	-		
Verwerkingstijd						-	-	-		
Water										
Zetmaat	50-90	100-150	50-90	50-90	50-90	160-200	100-150	50-90	50-90	80-120
Vloeimaat										
Schudmaat										
Maximale wbf [Duracrete]	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Berekende wbf [Duracrete]	0,49	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50	0,45	0,45	0,49	0,50
Berekende wcf [VBT]	0,54	0,54	0,54	0,53	0,55	0,55	0,45	0,45	0,54	0,50
Korrelverdeling toeslagmat.										
Zand [0-4]	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Grind [4-16 / 4-32]	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
D_{max} 31.5 mm	100%		100%	100%	100%		100%	100%	100%	100%
D_{max} 16 mm		100%				100%				
D_{max} 4 mm										
Fijn materiaal < 0,250 mm [l/m^3]										
Minimale hoeveelheid	130	145	130	130	130	140	140	-	130	130
100 jaar levensduur [voorwaarden]										
Levensduur	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Dekking [nominaal]	50	50	50	50/38	50	50	50	50	50/38	50
Verhardingsduur bij ontkisten/voorspannen/etc	-/1 wk	-/1 wk	-/1 wk	4 weken	-	-	-	-	-/2 wk	88 uur
Min. sterkte bij ontkisten/voorspannen/etc [N/mm^2].	3,5/20	3,5/20	3,5/20	35	3,5/14,0	3,5/14,0	3,5	3,5	3,5/25	15
Periode van nabehandeling	**≥ 3 dgn**	**≥ 3 dgn**	**≥ 3 dgn**	**≥ 3 dgn**	**≥ 7 dgn**	**≥ 7 dgn**	**≥ 1 dgn**	**≥ 3 dgn**	**≥ 3 dgn**	**≥ 3 dgn**
Min. sterkte voor nabehandeling [N/mm^2].	**17,5**	**17,5**	**17,5**	**17,5**	**24,5**	**24,5**	**14**	**17,5**	**17,5**	**17,5**
Max. diffusiecoëfficiënt Chloriden [m^2/s]	7,5 * 10^{-12}	7,5 * 10^{-12}	7,5 * 10^{-12}	7,5 * 10^{-12}	11,3 * 10^{-12}	11,3 * 10^{-12}	6,9 * 10^{-12}	4,45 * 10^{-12}	7,5 * 10^{-12}	7,5 * 10^{-12}
Max. diffusiecoëff. Carbonatatie [$m^3mm^2/(kg*jaar)$]	36000	36000	36000	36000	75000	75000	n.v.t.	2,3*E06	36000	36000

BIJLAGE IV PRIORITERINGSMATRIX

Onderdeel	Maatregel	Voorafgaande werkzaamheden	Soort	Mechanisme	Hoeveelheid	Eenheid	Eenheidsprijs	Kale kosten	Totale kosten (incl. toeslag)	...le kosten	...ffectiviteit	...schikbaarheid	...nderhoudbaarh...	...thetiek	...ta...
Plafond	Sealing aanbrengen	reinigen, afkloppen, betonherstel	Beheersen	Verhoogde porositeit buitenste laag	25000	m^2	€ 125,00	€ 3.125.000,00	€ 6.250.000,00	3	5	2	5	5	20
Plafond	CO2 dichte coating	reinigen, afkloppen, betonherstel	Beheersen	Carbonatatiediepte bereikt wapening	25000	m^2	€ 125,00	€ 3.125.000,00	€ 6.250.000,00	3	4	3	5	3	18
Plafond	Kathodische bescherming		Beheersen	Corroderen wapening	25000	m^2	€ 125,00	€ 3.125.000,00	€ 6.250.000,00	3	3	4	3	3	16
Plafond	Thermische bescherming	reinigen	Beheersen	Vorst-dooi cycli	25000	m^2	€ 150,00	€ 3.750.000,00	€ 7.500.000,00	3	4	2	4	3	16
Plafond	Nieuwe deklaag	reinigen, oude deklaag verwijderen	Beheersen	Verhoogde porositeit buitenste laag	25000	m^2	€ 200,00	€ 5.000.000,00	€ 10.000.000,00	2	4	1	4	4	15
Plafond	fijnmazig net plaatsen		Beheersen	Loskomen schollen	25000	m^2	€ 100,00	€ 2.500.000,00	€ 5.000.000,00	3	3	2	3	3	14
Plafond	Verdelging		Beheersen	Mosgroei	25000	m^2	€ 75,00	€ 1.875.000,00	€ 3.750.000,00	4	1	3	1	3	12
Plafond	Periodiek afkloppen		Beheersen	Loskomen schollen	25000	m^2	€ 75,00	€ 1.875.000,00	€ 3.750.000,00	4	1	3	1	2	11
Plafond	Extra dekking	reinigen, afkloppen	Beheersen	Verhoogde porositeit buitenste laag	25000	m^2	€ 175,00	€ 4.375.000,00	€ 8.750.000,00	3	1	2	1	3	10
Plafond	Meting carbonatatiediepte		Monitoren	Carbonatatiediepte bereikt wapening	25000	m^2		€ -	€ -						0
Plafond	Potentiaalmeting		Monitoren	Corroderen wapening	25000	m^2		€ -	€ -						0
Plafond	Temperatuur en vochtigheidssensors		Monitoren	Vorst-dooi cycli	25000	m^2		€ -	€ -						0
Stempels	CO2 dichte coating	reinigen, afkloppen, betonherstel	Beheersen	Carbonatatiediepte bereikt wapening	5875	m^2	€ 200,00	€ 1.175.000,00	€ 2.350.000,00	4	5	2	5	5	21
Stempels	Nieuwe deklaag	reinigen, oude deklaag verwijderen	Beheersen	Verhoogde porositeit buitenste laag	5875	m^2	€ 175,00	€ 1.028.125,00	€ 2.056.250,00	4	5	1	5	4	19
Stempels	Kathodische bescherming		Beheersen	Corroderen wapening	5875	m^2	€ 125,00	€ 734.375,00	€ 1.468.750,00	5	3	4	3	3	18
Stempels	Thermische bescherming + band	reinigen	Beheersen	Vorst-dooi cycli	5875	m^2	€ 150,00	€ 881.250,00	€ 1.762.500,00	5	4	2	4	3	18
Stempels	Extra dekking	reinigen, afkloppen	Beheersen	Verhoogde porositeit buitenste laag	5875	m^2	€ 200,00	€ 1.175.000,00	€ 2.350.000,00	4	4	1	4	4	17
Stempels	fijnmazig netkous om stempel		Beheersen	Loskomen schollen	5875	m^2	€ 100,00	€ 587.500,00	€ 1.175.000,00	5	3	2	3	3	16
Stempels	Verdelging		Beheersen	Mosgroei	5875	m^2	€ 75,00	€ 440.625,00	€ 881.250,00	5	1	3	1	3	13
Stempels	Sealing aanbrengen	reinigen, afkloppen, betonherstel	Beheersen	Verhoogde porositeit buitenste laag	5875	m^2	€ 125,00	€ 734.375,00	€ 1.468.750,00	5	1	2	1	3	12
Stempels	Periodiek afkloppen		Beheersen	Loskomen schollen	5875	m^2	€ 75,00	€ 440.625,00	€ 881.250,00	5	1	3	1	2	12
Stempels	Meting carbonatatiediepte		Monitoren	Carbonatatiediepte bereikt wapening	5875	m^2		€ -	€ -						0
Stempels	Potentiaalmeting		Monitoren	Corroderen wapening	5875	m^2		€ -	€ -						0
Stempels	Temperatuur en vochtigheidssensors		Monitoren	Vorst-dooi cycli	5875	m^2		€ -	€ -						0
Wanden bak	Nieuwe deklaag	reinigen, oude deklaag verwijderen	Beheersen	Verhoogde porositeit buitenste laag	36250	m^2	€ 125,00	€ 4.531.250,00	€ 9.062.500,00	3	5	1	5	4	18
Wanden bak	CO2 dichte coating	reinigen, afkloppen, betonherstel	Beheersen	Carbonatatiediepte bereikt wapening	36250	m^2	€ 175,00	€ 6.343.750,00	€ 12.687.500,00	2	4	3	5	3	17
Wanden bak	Kathodische bescherming		Beheersen	Corroderen wapening	36250	m^2	€ 125,00	€ 4.531.250,00	€ 9.062.500,00	3	3	4	3	3	16
Wanden bak	Thermische bescherming	reinigen	Beheersen	Vorst-dooi cycli	36250	m^2	€ 100,00	€ 3.625.000,00	€ 7.250.000,00	3	4	2	4	3	16
Wanden bak	Extra dekking	reinigen, afkloppen	Beheersen	Verhoogde porositeit buitenste laag	36250	m^2	€ 150,00	€ 5.437.500,00	€ 10.875.000,00	2	4	1	4	4	15
Wanden bak	Verdelging		Beheersen	Mosgroei	36250	m^2	€ 50,00	€ 1.812.500,00	€ 3.625.000,00	4	1	3	1	3	12
Wanden bak	Periodiek afkloppen		Beheersen	Loskomen schollen	36250	m^2	€ 50,00	€ 1.812.500,00	€ 3.625.000,00	4	1	3	1	2	11
Wanden bak	Sealing aanbrengen	reinigen, afkloppen, betonherstel	Beheersen	Verhoogde porositeit buitenste laag	36250	m^2	€ 100,00	€ 3.625.000,00	€ 7.250.000,00	3	1	2	1	3	10
Wanden bak	Meting carbonatatiediepte		Monitoren	Carbonatatiediepte bereikt wapening	36250	m^2		€ -	€ -						0
Wanden bak	Potentiaalmeting		Monitoren	Corroderen wapening	36250	m^2		€ -	€ -						0
Wanden bak	Temperatuur en vochtigheidssensors		Monitoren	Vorst-dooi cycli	36250	m^2		€ -	€ -						0
Wanden tunnel	Nieuwe deklaag	reinigen, oude deklaag verwijderen	Beheersen	Verhoogde porositeit buitenste laag	50300	m^2	€ 125,00	€ 6.287.500,00	€ 12.575.000,00	2	5	1	5	4	17
Wanden tunnel	CO2 dichte coating	reinigen, afkloppen, betonherstel	Beheersen	Carbonatatiediepte bereikt wapening	50300	m^2	€ 175,00	€ 8.802.500,00	€ 17.605.000,00	1	4	3	5	3	16
Wanden tunnel	Kathodische bescherming		Beheersen	Corroderen wapening	50300	m^2	€ 125,00	€ 6.287.500,00	€ 12.575.000,00	2	3	4	3	3	15
Wanden tunnel	Thermische bescherming	reinigen	Beheersen	Vorst-dooi cycli	50300	m^2	€ 100,00	€ 5.030.000,00	€ 10.060.000,00	2	4	2	4	3	15
Wanden tunnel	Extra dekking	reinigen, afkloppen	Beheersen	Verhoogde porositeit buitenste laag	50300	m^2	€ 150,00	€ 7.545.000,00	€ 15.090.000,00	1	4	1	4	4	14
Wanden tunnel	Verdelging		Beheersen	Mosgroei	50300	m^2	€ 50,00	€ 2.515.000,00	€ 5.030.000,00	3	1	3	1	3	11
Wanden tunnel	Periodiek afkloppen		Beheersen	Loskomen schollen	50300	m^2	€ 50,00	€ 2.515.000,00	€ 5.030.000,00	3	1	3	1	2	10
Wanden tunnel	Sealing aanbrengen	reinigen, afkloppen, betonherstel	Beheersen	Verhoogde porositeit buitenste laag	50300	m^2	€ 100,00	€ 5.030.000,00	€ 10.060.000,00	2	1	2	1	3	9
Wanden tunnel	Meting carbonatatiediepte		Monitoren	Carbonatatiediepte bereikt wapening	50300	m^2		€ -	€ -						0
Wanden tunnel	Potentiaalmeting		Monitoren	Corroderen wapening	50300	m^2		€ -	€ -						0
Wanden tunnel	Temperatuur en vochtigheidssensors		Monitoren	Vorst-dooi cycli	50300	m^2		€ -	€ -						0

BIJLAGE V SCORINGSTABELLEN PRIORITERING

Kosten	
1	>7,5 mln EUR
2	5-7,5 mln EUR
3	2-5 mln EUR
4	1-2 mln EUR
5	0-1 mln EUR

Effectiviteit	
1	0 - 10 jaar
2	10 - 20 jaar
3	20 - 35 jaar
4	35 - 60 jaar
5	> 60 jaar

Beschikbaarheid	
1	Nachtelijke werkzaamheden
2	1-5 Weekendafsluitingen
3	>5 Weekendafsluitingen
4	1-5 Weekafsluitingen
5	>5 Weekafsluitingen

Onderhoudbaarheid	
1	> 1x per 10 jaar, >100.000 EUR
2	< dan 1x per 10 jaar, >100.000 EUR
3	> 1x per 10 jaar, <100.000 EUR
4	< 1x per 10 jaar, <100.000 EUR
5	geen onderhoud < 50 jaar

Esthetiek	
1	Huidige esthetische waarde ernstig aangetast
2	Huidige esthetische waarde aangetast
3	Neutraal effect op huidige esthetische waarde
4	Huidige esthetische waarde verbeterd
5	Huidige esthetische waarde sterk verbeterd

BIJLAGE VI MEMO ‘ONDERZOEK 5 OBJECTEN HSL ZUID’

Railinfra Solutions

memo

Railinfra Solutions
Postbus 24088
3502 MB Utrecht
telefoon 030 283 39 00
fax 030 283 39 01

onderwerp	onderzoek 5 objecten HSL zuid
projectcode	RIS430-4
referentie	RIS430-4/pouc/019
opgemaakt door	Koen Schipper
datum opmaak	18 september 2015
bijlagen	-

aan	ProRail	Rob den Boer
kopie	Railinfra Solutions	Bert Strijker

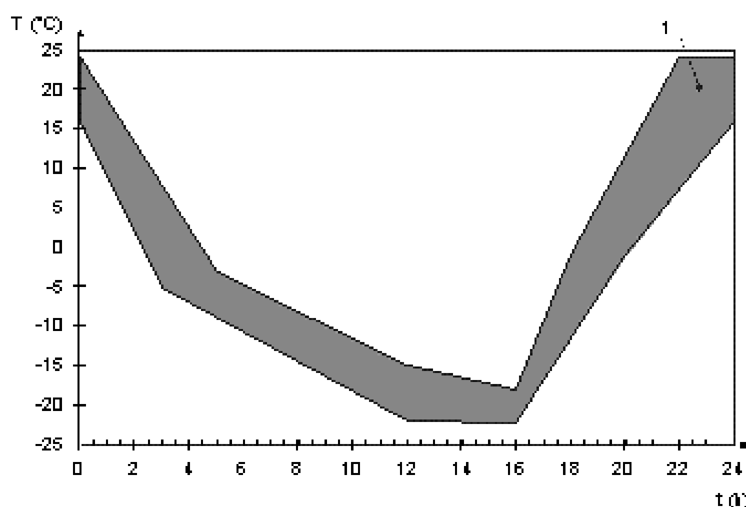
Inleiding
Op verzoek van ProRail wordt er door Railinfra Solutions nader onderzoek verricht naar de staat van de betonconstructie van de objecten Tunnel Dordtsche Kil (TDK) en Tunnel Oude Maas (TOM) van het contractgebied ZHZ (Zuid Holland Zuid) en de objecten Cutting Galder, Cutting Prinsenbeek, Tunnel Westrik van het contractgebied BZ (Brabant Zuid). Dit is naar aanleiding van een betononderzoek wat uitgevoerd wordt voor Tunnel Rotterdam Noord (TRN) van HSL-Zuid. Dit onderzoek dient een indicatie te geven of dezelfde problemen geconstateerd worden als bij TRN.

Het onderzoek dient om te voorspellen of in het bijzonder de gemeten carbonatatiediepten en de vorst/dooi wisselingen de 100 jaar technische levensduur in gevaar brengen. De scope van de werkzaamheden betreft het boren van betonkernen in de bovenzijde zijkanten van de wanden van de toerit voor objecten TDK en TOM van contractgebied ZHZ en tevens de bovenzijde zijkanten van de wanden van de objecten Cutting Galder, Cutting Prinsenbeek en Tunnel Westrik voor contractgebied NBZ.

Bevindingen
De kernen zijn beproefd volgens de richtlijn NPR-CEN/TS 12390-9 (Beproeving van verhard beton - Deel 9: Vorst/dooi-bestandheid – Afschilfering). Er zijn verschillende test methodes beschikbaar, echter geen enkele methode kan de exacte condities buiten nabootsen. Dit is een belangrijke kanttekening bij de interpretatie van de onderzoeksresultaten. De resultaten kunnen wel goed vergeleken worden met de richtlijn die bepaalt hoeveel beton er mag afschilferen tijdens een aantal vorst/dooi cycli.

Een vorst-dooi cyclus wordt in richtlijn conform onderstaande afbeelding beschreven. Een vorst-dooi cyclus loopt van een positieve temperatuur naar een negatieve en weer positief. Deze definitie van een cyclus wordt aangehouden in deze rapportage.

Afbeelding 1.1. Vorst-dooi cyclus cf. NPR-CEN/TS 12390-9



Bekeken is hoeveel kg/m2 beton afsplintert na een aantal vorst/dooi-cycli. Voor de afschilfering na 28 dagen (cycli) is in de richtlijn een grenswaarde van 1,5 kg/m2 gegeven. Zit de afschilfering van het proefstuk onder deze waarde, dan is deze vorstbestendig. De verwachting is dat het beton vorstbestendiger wordt richting de kern.

In de onderstaande tabel zijn de resultaten weergegeven van de vorst-dooi beproeving voor de 5 objecten van de HSL Zuid. 28 april 2015 wordt de meting verricht van 56 cycli. Wanneer we de resultaten na 28 cycli vergelijken met de grenswaard in de richtlijn, dan zien we dat enkel het kunstwerk bij Galder voldoet. De objecten Prinsenbeek, Westrik en Tunnel Oude Maas laten een gewichtsverlies zien welke ver boven (4 tot bijna 6 maal hoger) de grenswaarde ligt.

Tabel 1.1. Resultaten vorst-dooi beproeving 5 objecten HSL Zuid

monster	testoppervlak	massaverlies per m²				
		7 cycli	14 cycli	28 cycli	42 cycli	56 cycli
code	m²	kg/m²	kg/m²	kg/m²	kg/m²	kg/m²
TDK-01-2	0,0053	0,28	0,98	2,80	4,58	-
TDK-02-2	0,0053	0,12	1,20	2,54	3,24	-
PRINSBEEK -01-3	0,0053	0,66	5,68	8,74	9,72	-
PRINSBEEK -02-3	0,0053	0,36	2,56	5,98	7,82	-
GALDER-01-5	0,0053	0,10	0,20	0,62	0,92	-
GALDER-02-5	0,0053	0,08	0,14	1,28	2,02	-
WESTRIK-01-4	0,0053	0,04	5,56	8,56	9,68	-
WESTRIK-02-4	0,0053	2,22	4,68	7,34	8,20	-
TOM-01-1	0,0053	0,14	5,62	8,34	10,12	-
TOM-02-1	0,0053	0,10	0,12	7,50	13,98	-
gemiddeld		0,42	2,68	5,36	7,02	-
maximum		2,22	5,68	8,74	13,98	-

Conclusie en aanbevelingen

Vergelijkbaar met de resultaten van HSL Tunnel Rotterdam Noord, waar een gemiddeld gewichtsverlies na 28 cycli van 2,99 kg/m² (minus outliers) werd gemeten, liggen ook hier de gemiddelde waardes per object hoger dan de grenswaarde van 1,5 kg/m². Voor 3 objecten (Tunnel Dortsche Kil, Tunnel Westrik en Tunnel Oude Maas) liggen de waardes beduidend hoger dan bij Tunnel Rotterdam Noord. De conclusie is dat gezien de resultaten van de vorst-dooi beproeving enkel Cutting Galder conform richtlijn NPR-CEN/TS 12390-9 vorstbestendig is.

Met de resultaten uit de vorst-dooi beproeving is nog niet de achterliggende oorzaak aan te wijzen. Nader onderzoek zou moeten uitwijzen of er net zoals bij Tunnel Rotterdam Noord sprake is van een verhoogde porositeit van de buitenste laag van het beton. Aanbeveling is om op korte termijn in ieder geval de volgende onderzoeken uit te voeren voor alle objecten (met uitzondering van Cutting Galder):

- microscopische analyse: betonsamenstelling en microstructuur;
- vorst-dooi beproeving: meer proefstukken, ook dak en binnenzijde wanden;
- carbonatatiemeting boorgaten: indicatie verkrijgen wanneer carbonatatiefront wapening bereikt;
- dekkingsmeting: vaststellen afstand tot wapening om tijdstip van corroderen te bepalen.

BIJLAGE VII ONDERZOEKSRAPPORT BAS

B | A | S

RESEARCH & TECHNOLOGY

B|A|S
Olivier van Noortweg 10
5928 LX Venlo
The Netherlands
T +31 (0)77 850 72 22
F +31 (0)77 850 72 23
info@basrt.eu
www.basrt.eu
Venlo nr. 9298

B|A|S Rapport:	2015-0343-004
Onderwerp:	Aanvullend onderzoek HSL tunnels **STATUS: CONCEPT**
Datum rapport:	23 juni 2015
Opdrachtgever:	Railinfra Solutions V.O.F
Adres opdrachtgever:	Leidseveer 4 3511 SB Utrecht Nederland

Datum rapport	Status rapport	Versie
12 juni 2015	Concept	C1
23 juni 2015	Concept	C2

Projectnaam:	Onderzoek tunnels HSL
Projectnummer:	2015-0343
Datum onderzoek:	1 juni 2015
Auteur:	ir. S. Leurs
Thema:	Beton
Trefwoorden:	Aanvullend onderzoek naar vorstgevoeligheid

Inhoudsopgave

1 Inleiding

Railinfra Solutions V.O.F. heeft B|A|S Research & Techonology opdracht gegeven een aanvullend onderzoek uit te voeren aan al reeds voor een eerder onderzoek aangeleverde cilinders.

Het eerder door B|A|S uitgevoerd onderzoek (2015-0343-001/002)had onder andere als doel het bepalen van de vorstdooi bestandheid van het beton. De resultaten lieten meer afschilfering zien dan aanvankelijk verwacht. Het doel van het aanvullend onderzoek is om de oorzaak van deze hoge waardes te achterhalen.

Door de opdrachtgever is gevraagd om de volgende zaken te onderzoeken:

1. Optreden van bleeding
2. Porositeit / Permeabiliteit
3. Luchtgehalte van het beton:
   a. Afmetingen luchtbellen (gewenst tussen 100-500 µm)
   b. Soortelijk oppervlak (gewenst tussen 25-50 mm^2/mm^3)
   c. Afstandsfactor van de luchtbellen (gewenst < 200 µm)
4. Werkelijke water cement factor

De wensen in bovenstaande opsomming zijn tevens aangegeven door de opdrachtgever.

De punten 1, 3 (b & c) en 4 zijn onderzocht middels een petrografisch onderzoek. Daarnaast zijn de porieparameters (soortelijk oppervlak en afstandsfactor) vastgesteld door het uitvoeren van een zogenaamde image-analysis. De houdt in dat een aantal cilinders in twee helften zijn gezaagd en van het zaagvlak een kwalitatief hoogwaardige foto is gemaakt. Deze foto is gebruikt voor de image-analysis. De porieparameters zijn hierop vastgesteld aan de hand van de lineaire traverse methode volgens ASTM C457-90. De porositeit van het beton is vastgesteld middels een waterabsorptie test omschreven in Annex G van EN 13369:2004.

Het resultaat van dit onderzoek is in de voorliggende rapportage weergegeven.

2 Laboratoriumonderzoek

Voor het onderzoek zijn monsters afkomstig van het eerder uitgevoerde onderzoek gebruikt. Dit onderzoek is uitgevoerd in twee fasen. In onderstaande tabellen zijn de monstercoderingen en de hierop uitgevoerde onderzoeken weergegeven per fase.

Van fase 1 is gebruik gemaakt van zaagrestanten voor het onderzoek naar waterabsorptie en de bepaling van de porieparameters. Voor het PFM onderzoek zijn de beproefde cilinders (in vorstdooi onderzoek) gebruikt. Voor fase 2 zijn geen zaagrestanten meer voorradig. Daarom zijn alle testen uitgevoerd op oude proefstukken afkomstig van het vorstdooi onderzoek.

Een overzicht van de uitgevoerde onderzoek is in onderstaande tabellen per fase weergegeven.

Fase 1

Codering	Type proefstuk	Onderzoek
3	Vorstdooi proefstuk	PFM
6	Zaagrestant	Waterabsorptie EN13369 Annex G
12	Zaagrestant / Vorstdooi proefstuk	ASTM C457 / PFM
36	Zaagrestant	Waterabsorptie EN13369 Annex G
43	Vorstdooi proefstuk	ASTM C457

Tabel 1: Monstercoderingen met uitgevoerde onderzoeken.

Fase 2

Codering		Onderzoek
15	Vorstdooi proefstuk	Waterabsorptie EN13369 Annex G
28	Vorstdooi proefstuk	PFM
31	Vorstdooi proefstuk	PFM
32	Vorstdooi proefstuk	ASTM C457

Tabel 2: Monstercoderingen met uitgevoerde onderzoeken

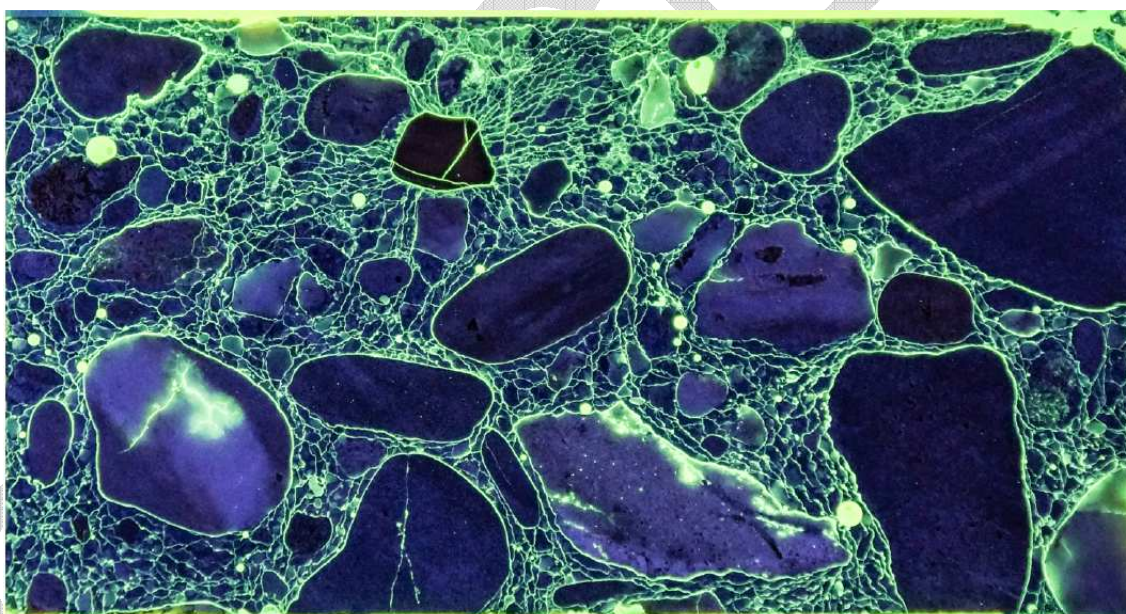
2.1 Petrografisch onderzoek

2.1.1 Algemeen

Voor het uitvoeren van petrografisch onderzoek zijn uit 4 proefstukken aan de onder- (onbeschadigd beton) en bovenzijde (zwaar aangetast beton) slijpplaatjes vervaardigd. Slijpplaatjes zijn microscopische preparaten met een dikte van ±30µm dik. De slijpplaatjes zijn middels PFM microscopie beoordeeld.

2.1.2 Resultaten

In alle slijpplaatjes is een grote mate van scheurvorming zichtbaar. De wijze van scheurvorming is in alle proefstukken gelijk, namelijk scheurvorming rond de toeslagkorrels welke verbonden zijn middels fijne scheuren in de cementpasta. Dit patroon is consistent met schade ontstaan door blootstelling aan vorstdooi cycli. De hoge mate van scheurvorming laat zien dat het beton niet vorstbestand is. Er is geen sprake van bleeding.



Figuur 1: Doorsnede proefstuk 3 gezien met UV licht.

Het beton in de proefstukken is vervaardigd van een hoogovencement met vliegas. Het grof toeslagmateriaal bevat een geringe mate van poreuze chert (ASR gevoelig toeslagmateriaal). Alle proefstukken bevatten zones met hoge en lage porositeit. Een hoge porositeit is vastgesteld in de geoxideerde en gecarbonateerde zones.

Vanwege de oxidatie is het moeilijk om een actuele water cement factor te bepalen. Op de locaties waar de minste oxidatie heeft plaatsgevonden wordt de water cementfactor ingeschat op 0,40. Proefstuk 12 is volledig geoxideerd, daarom is een water cement factor bepaling hier niet mogelijk.

Geen van de monsters bevatten een poriestructuur welke bestand is tegen vorstdooi invloeden. Het monster met de meeste capillaire poriën bevat ook de meeste schade. Dit is een logisch gevolg vanwege het feit dat meer water in de betonstructuur kan dringen.

De volledige petrografisch beoordeling is weergegeven in de bijlage.

2.2 Luchtgehalte

Een beoordeling van het luchtgehalte is uitgevoerd volgens ASTM C457 gecombineerd met een zogenaamde image-analysis. Voor het onderzoek zijn de cilinders door midden gezaagd. Hierbij is een zo'n vlak mogelijk oppervlak gecreëerd. Vervolgens is de binnenzijde van de cilinder een foto met hoge resolutie gemaakt.

Met behulp van image-analysis zijn de porieparameters middels de lineaire traverse methode bepaald. Bij de lineaire traverse methode wordt de weg die wordt afgelegd door toeslagmateriaal, lucht en cementpasta opgemeten langs een aantal lijnen. Voor dit onderzoek zijn vijf lijnen gebruikt. In de paragrafen met resultaten van de diverse cilinders is de indeling van de lijnen weergegeven.

De porieparameters kunnen vervolgens volgens het model van Powers worden berekend. In de onderstaande tabel zijn de formules weergegeven die hiervoor zijn gebruikt.

Parameter	Symbool	Formule
Luchtgehalte	A	$\frac{T_a \cdot 100}{T_t}$
Gemiddelde koordlengte	l_{mean}	$\frac{T_a}{N}$
Soortelijk oppervlak	α	$\frac{4}{l_{mean}}$
Cementgehalte	p	$\frac{T_p \cdot 100}{T_t}$
Cement/lucht ratio	$\frac{p}{A}$	$\frac{T_p}{T_a}$
Afstandsfactor volgens Powers	L_{mean}	Als p/A ≤ 4,342 dan $L_{mean} = \frac{T_p}{4N}$ Als p/A > 4,342 dan $L_{mean} = \frac{3}{\alpha}\left(1{,}4\left(1+\frac{p}{A}\right)-1\right)$

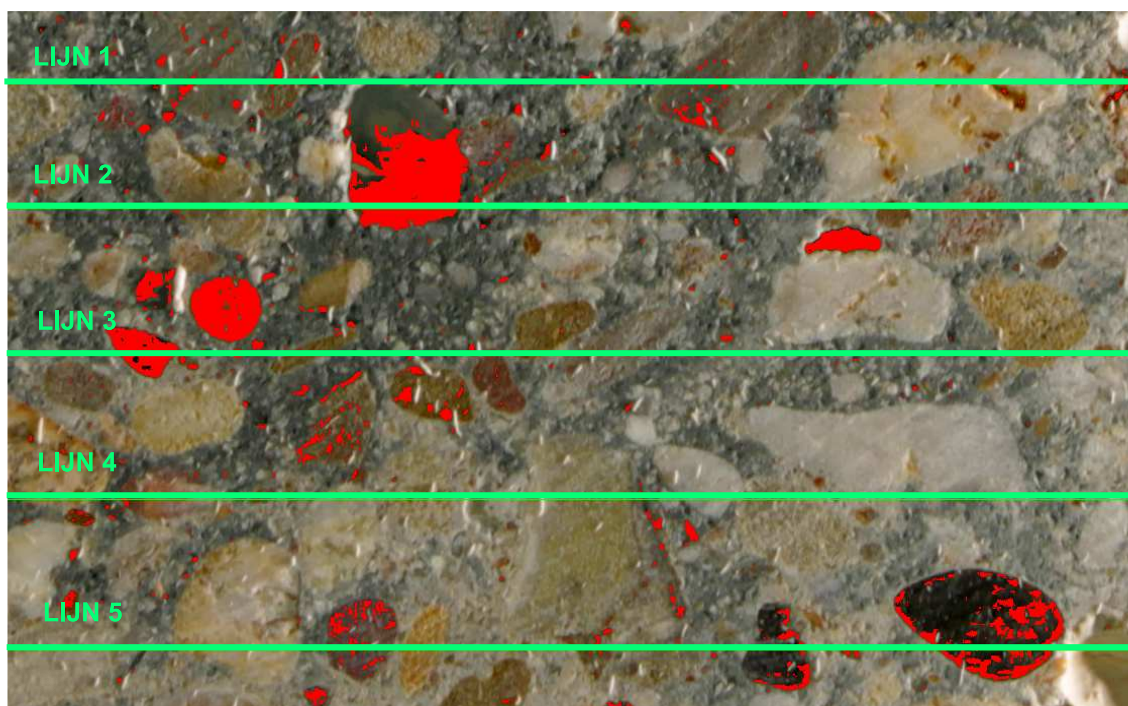
Tabel 3: Overzicht porieparameters.

2.2.1 Kern 12 (fase 1)

Allereerst moet worden opgemerkt dat de aanwezige poriën veelal klein zijn en goed verdeeld door de doorsnede.

De analyse is gestart door de poriën door middel van een filter in het rood weer te geven. Hierdoor zijn de poriën goed herkenbaar voor de analyse. Let op: in de onderstaande afbeelding zijn ook een aantal korrels meegenomen. Deze zijn in de analyse niet meegenomen als porie.

Vervolgens zijn de parameters van de poriën bepaald aan de hand ASTM C457-90. Hiervoor is ingezoomd op een gebied van 65x35 mm. Dit meetgebied is gekozen omdat bij deze afmetingen de diverse bestanddelen (cementpasta, toeslagmateriaal en luchtbellen) goed te onderscheiden zijn. In de figuur zijn 5 lijnen gedefinieerd voor de lineaire traverse methode. Langs deze lijnen zijn de totale afstanden opgemeten die lucht, toeslagmateriaal en cementsteen doorkruizen. Het gebruikte grid is onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 2: Foto van zaagvlak met daarop het meetgrid in groen en de poriën in rood weergegeven.

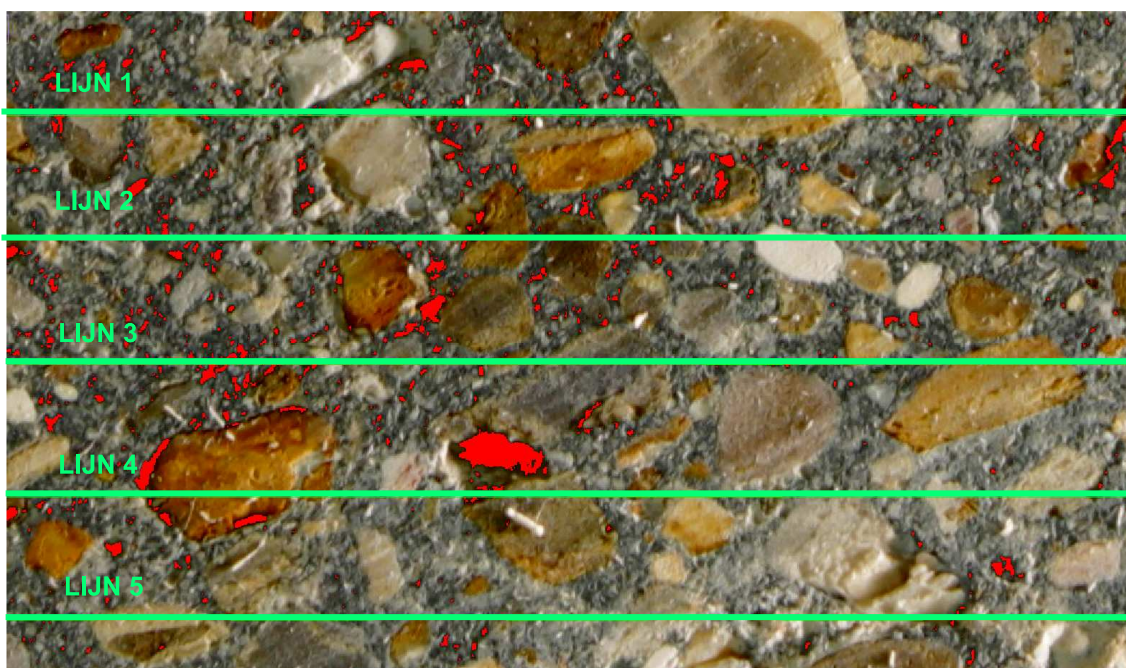
De resultaten van de metingen en berekeningen zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Parameter	Eenheid	Symbool	Lijn 1	Lijn 2	Lijn 3	Lijn 4	Lijn 5	Gemiddelden
Afstand door toeslag	[mm]	T_{aggr}	29,22	30,39	17,10	41,51	28,36	29,32
Afstand door lucht	[mm]	T_a	2,53	21,66	35,92	14,79	21,18	19,22
Afstand door cementpasta	[mm]	T_p	30,02	1,92	5,70	2,40	2,00	8,41
Afstand lucht + pasta	[mm]	T_t	32,55	23,59	41,62	17,19	8,62	24,72
Luchtgehalte	[%]	A	7,76	8,16	13,70	13,98	8,62	10,44
Gemiddelde koordlengte	[mm]	l_{mean}	0,51	0,32	0,81	1,20	0,67	0,70
Soortelijk oppervlak	[mm²/mm³]	α	7,91	12,47	4,91	3,33	6,00	6,93
Gehalte cementpasta	[%]	p	92,24	91,84	86,30	86,02	91,38	89,56
Pasta/Lucht ratio	[-]	p/A	11,88	11,26	6,30	6,15	10,60	9,24
Powers afstandsfactor	[-]	L	0,86	0,54	1,05	1,53	1,08	1,01

Tabel 4: Resultaten porieparameters kern 12.

2.2.2 Kern 34 (fase 2)

Allereerst is de aanwezige lucht geïsoleerd van de rest voor een goede herkenning. De poriën zijn in rood weergegeven in onderstaande figuur. Vervolgens zijn de parameters van de poriën bepaald aan de hand ASTM C457-90. Hiervoor is ingezoomd op een gebied van 65x35 mm. Op deze afmetingen zijn de diverse bestanddelen (cementpasta, toeslagmateriaal en luchtbellen) goed te onderscheiden. In de figuur zijn 5 lijnen gedefinieerd om hierlangs de lineaire traverse methode toe te passen. Dit houdt in dat de doorkruisingafstanden door lucht, toeslagmateriaal en cementsteen zijn opgemeten.



Figuur 3: Foto van zaagvlak met daarop het meetgrid in groen en de poriën in rood weergegeven.

De gemeten waarden zijn gebruikt voor het bepalen van de porieparameters aan de hand van de formules omschreven in paragraaf 2.2 De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

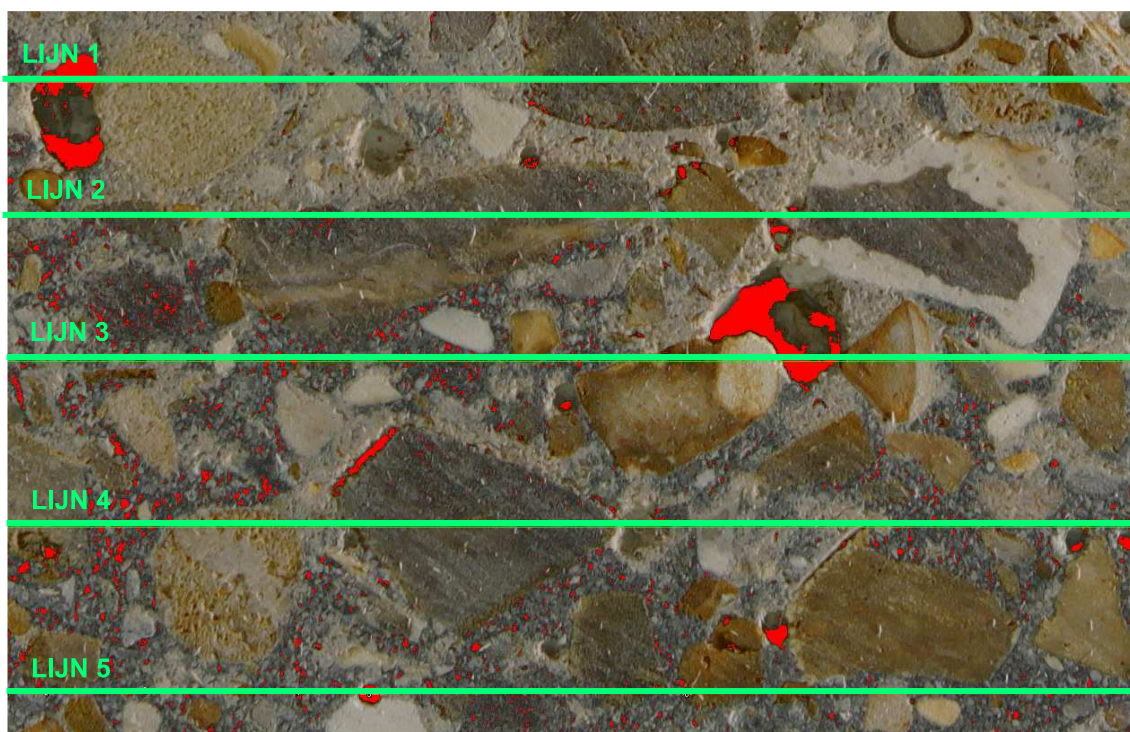
Parameter	Eenheid	Symbool	Lijn 1	Lijn 2	Lijn 3	Lijn 4	Lijn 5	Gemiddelden
Afstand door toeslag	[mm]	T_{aggr}	30,69	24,76	36,31	34,26	28,06	30,81
Afstand door lucht	[mm]	T_a	2,04	28,12	37,73	25,35	30,98	24,84
Afstand door cementpasta	[mm]	T_p	33,24	1,87	1,97	0,55	1,23	7,77
Afstand lucht + pasta	[mm]	T_t	35,28	29,99	39,70	25,91	3,83	26,94
Luchtgehalte	[%]	A	5,77	6,23	4,96	2,13	3,83	4,58
Gemiddelde koordlengte	[mm]	l_{mean}	0,41	0,31	0,28	0,28	0,41	0,34
Soortelijk oppervlak	[mm²/mm³]	α	9,82	12,85	14,23	14,47	9,73	12,22
Gehalte cementpasta	[%]	p	94,23	93,77	95,04	97,87	96,17	95,42
Pasta/Lucht ratio	[-]	p/A	16,32	15,06	19,17	45,84	25,13	24,31
Powers afstandsfactor	[-]	L	0,80	0,59	0,59	0,84	0,97	0,76

Tabel 5: Resultaten porieparameters kern 34.

2.2.3 Kern 43

Voor de analyse zijn de poriën allereerst weer in het rood weergegeven, waardoor de poriën beter herkenbaar zijn. Vervolgens zijn via de lineaire traverse methode de porieparameters bepaald. Het gekozen meetraster is in onderstaande figuur zichtbaar.

B | A | S
RESEARCH & TECHNOLOGY
BASRT.EU



Figuur 4: Foto van zaagvlak met daarop het meetgrid in groen en de poriën in rood weergegeven.

De resultaten van het onderzoek zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Parameter	Eenheid	Symbool	Lijn 1	Lijn 2	Lijn 3	Lijn 4	Lijn 5	Gemiddelden
Afstand door toeslag	[mm]	T_{aggr}	52,06	66,81	19,06	49,59	18,90	41,28
Afstand door lucht	[mm]	T_a	4,43	11,91	31,69	19,58	47,68	23,06
Afstand door cementpasta	[mm]	T_p	25,55	0,60	7,24	1,39	3,66	7,69
Afstand lucht + pasta	[mm]	T_t	29,98	12,51	38,93	20,96	7,12	21,90
Luchtgehalte	[%]	A	14,77	4,80	18,60	6,61	7,12	10,38
Gemiddelde koordlengte	[mm]	l_{mean}	0,89	0,10	1,03	0,69	1,22	0,79
Soortelijk oppervlak	[mm²/mm³]	α	4,52	39,93	3,87	5,78	3,28	11,48
Gehalte cementpasta	[%]	p	85,23	95,20	81,40	93,39	92,88	89,62
Pasta/Lucht ratio	[-]	p/A	5,77	19,81	4,38	14,14	13,05	11,43
Powers afstandsfactor	[-]	L	1,09	0,21	1,13	1,28	2,17	1,18

Tabel 6: Resultaten porieparameters kern 43.

2.3 Absorptie

Van 4 monsters is de waterabsorptie bepaald conform EN 13369:2004 Annex G. Hiervoor zijn de proefstukken aan de buitenzijde behandelt met een epoxy hars. Om de proefstukken volledig te verzadigen zijn de proefstukken vervolgens minimaal 3 dagen onder water gezet en gewogen. Hierna begint het droogproces in een oven met een temperatuur van 105±5°C. De monsters worden elke 24 uur gewogen. Als de massa slechts 0,1% afwijkt van de vorige weging zijn de proefstukken droog en is de proef voltooid.

De resultaten van de proef zijn in onderstaande tabellen weergegeven. Conform BRL 2812: 2009 mag de wateropname 5% zijn. Bij het resultaat van proefstuk 15 moet worden opgemerkt dat dit een vorstdooi proefstuk betreft en dat door inwendige schade de waterabsorptie waarschijnlijk hoger is uitgevallen dan wanneer de test was uitgevoerd op een nog niet beproefd monster.

monstercode	Fase	verzadigd gewicht	droog gewicht	absorptie
		[g]	[g]	[% m/m]
6	1	1359	1294	5,0
15*	2	575	537	7,1
36	1	1309	1239	5,6

** monster eerst aangewend voor vorstdooi onderzoek.*

Tabel 7:   Resultaten waterabsorptietest

3 Conclusie

De resultaten van het onderzoek zijn in onderstaande tekst puntsgewijs weergegeven.

- Het petrografisch onderzoek laat scheurvorming zien voornamelijk rond het toeslagmateriaal verbonden met elkaar middels microscheuren in de cementsteen. Dit schadepatroon is consistent met vorstdooi schade;
- Verder toont het onderzoek aan dat het beton vervaardigd is met een hoogovencement met vliegas;
- Het beton bevat zones met hoge en lage porositeit, hierdoor is een bepaling van de water cement factor moeilijk. De zones met hoge porositeit laten een water cement factor van waarschijnlijk 0,40 zien;
- Het petrografisch onderzoek laat verder zien dat het beton geen poriestructuur bevat welke goed vorstbestand is;
- Het soortelijk oppervlak van de drie onderzochte cilinders 12, 34 en 43 is respectievelijk 6,93 mm^2/mm^3, 12,22 mm^2/mm^3 en 11,48 mm^2/mm^3. Dit is lager dan de gewenste 25-50 mm^2/mm^3;
- De afstandsfactor voor de drie onderzochte cilinders 12, 34 en 43 is respectievelijk 1,01 mm, 0,76 mm en 1,18 mm. Dit is beduidend groter dan de maximaal gewenste 200 µm (=0,2 mm)
- De waterabsorptie van proefstukken 16 en 36 (fase 1) is respectievelijk 5,0 en 5,6 % m/m. Deze test is uitgevoerd op zaagresten uit een voorgaand onderzoek. De waterabsorptie van proefstuk 15 is 7,1 % m/m. Dit onderzoek is uitgevoerd op een vorstdooi proefstuk, waardoor inwendige schade tot een grotere absorptie kan hebben geleid.

ir. S. Leurs
Consultant

ir. J.W.M. Bovend'Eerdt
Manager schade-expertise & inspecties